



TUGAS AKHIR - TE 141599

***MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR DAYA
MENGUNAKAN METODE MEYER WAVELET DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN SPEKTRUM ARUS,
TEMPERATUR DAN UMUR TRANSFORMATOR***

Evandro Aditia Sinuraya
NRP 2211 100 138

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR - TE 141599

***MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR DAYA
MENGUNAKAN METODE MEYER WAVELET DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN SPEKTRUM ARUS,
TEMPERATUR DAN UMUR TRANSFORMATOR***

Evandro Aditia Sinuraya
NRP 2211 100 138

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

**POWER TRANSFORMER CONDITION MONITORING
USING MEYER WAVELET BY CONSIDERING CURRENT
SPECTRUM, TEMPERATURE AND TRANSFORMER
SERVICE LIFE**

Evandro Aditia Sinuraya
NRP 2211 100 138

Advisor
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR DAYA
MENGUNAKAN METODE MEYER WAVELET DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN SPEKTRUM ARUS, TEMPERATUR
DAN UMUR TRANSFORMATOR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

NIP : 195809161986011001

Dr. Eng. Ardyono Privadi, S.T., M.Eng.

NIP : 197309271998031004

**SURABAYA
JULI, 2015**

**JURUSAN
TEKNIK ELEKTRO**

MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR DAYA MENGUNAKAN METODE MEYER WAVELET DENGAN MEMPERTIMBANGKAN SPEKTRUM ARUS, TEMPERATUR DAN UMUR TRANSFORMATOR

Nama : Evandro Aditia Sinuraya
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T, M.Eng.

ABSTRAK

Transformator daya 20 kV/380 V merupakan peralatan listrik vital dalam sistem distribusi. Transformator ini berhubungan langsung dengan konsumen sehingga berperan penting dalam proses penyaluran energi listrik. Saat ini banyak gangguan yang terjadi pada transformator distribusi, salah satunya disebabkan oleh kualitas minyak transformator yang kurang baik. Jika pemeliharaan tidak dilakukan dengan cepat, maka transformator akan mengalami kerusakan. Pada penelitian kali ini, akan dilakukan *monitoring* kondisi transformator daya dengan mempertimbangkan spektrum arus, temperatur dan umur transformator. Sampel arus akan diolah menggunakan metode wavelet meyer sehingga diperoleh nilai *power spectral density*. Data umur transformator digunakan untuk menunjang hasil pengelompokan umur minyak transformator, sedangkan nilai temperatur transformator belum dapat dimodelkan dalam pengelompokan ini. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini ialah pengelompokan umur minyak transformator daya berdasarkan nilai *power spectral density* yang diperoleh dari pengolahan sampel arus. Penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya, yaitu berupa penentuan kualitas minyak transformator yang dapat membantu dalam menentukan waktu penggantian minyak transformator sehingga salah satu penyebab kerusakan transformator dapat dihindari.

Kata kunci : Transformator, Minyak Transformator, *Power Spectral Density*, wavelet meyer.



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

POWER TRANSFORMER CONDITION MONITORING USING MEYER WAVELET BY CONSIDERING CURRENT SPECTRUM, TEMPERATURE AND TRANSFORMER SERVICE LIFE

Name : Evandro Aditia Sinuraya
Advisor : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Ardyono Priyadi, S.T, M.Eng.

ABSTRACT

Power transformers 20 kV / 380 V is vital electrical equipment in the distribution system. This transformer is directly related to the consumer so that very important in the process of electrical energy distribution. Nowadays many disruption that occur in distribution transformers, one of which is caused by bad transformer oil quality. If maintenance is not done quickly, there will be damage to the transformer. In this research, will be carried out a monitoring of power transformers condition by considering the spectrum of currents, temperature and transformer service life. Current sample will be processed using meyer wavelet methods to obtain the value of the power spectral density. The age of transformers are used to support the results of the age grouping of transformer oil while the value of temperature of the transformer can not be modeled in this grouping. Therefore, the result of this study is the age groupings of power transformer oil based on power spectral density values obtained from the processing stream of current sample. This study can be used as a basis for further research, in the form of the determination of the quality of the transformer oil which can help in determining the time of replacement of transformer oil so that one cause of the transformer damage can be avoided.

Kata kunci : Transformer, Transformer oil, Power Spectral Density, Meyer Wavelet.



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

KATA PENGANTAR

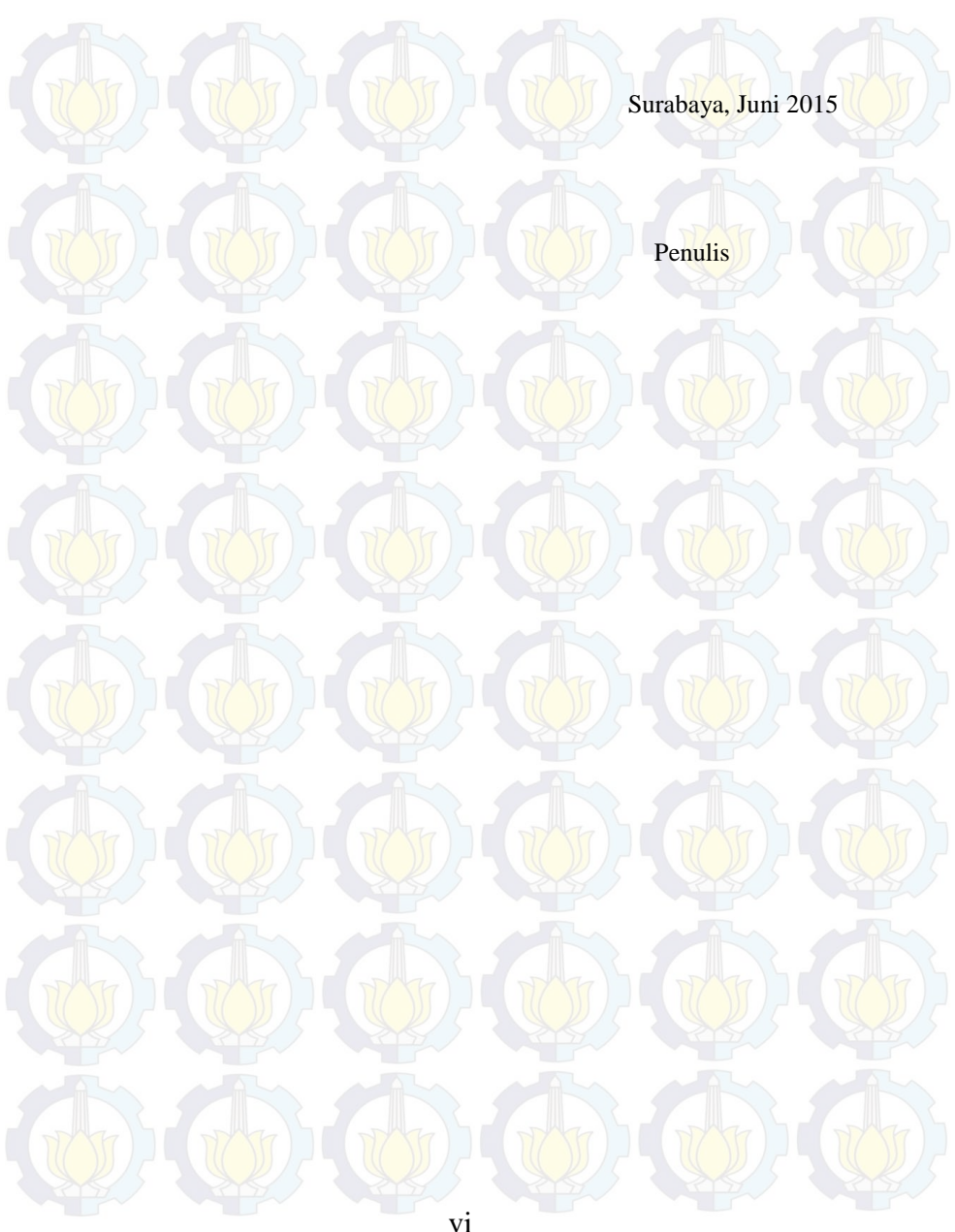
Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

Monitoring Kondisi Transformator Daya Menggunakan Metode Meyer Wavelet dengan Mempertimbangkan Spektrum Arus, Temperatur dan Umur Transformator

Melalui lembar ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghormatan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan yang maha esa atas segala nikmat dan rahmat yang telah diberikan selama ini.
2. Ayah, Ibu, dan keluarga penulis yang tiada henti-hentinya mencurahkan kasih sayang, perhatian, dan doa kepada penulis selama ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. dan Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan meluangkan waktu untuk membantu pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro ITS yang telah membina dan memberikan ilmu kepada penulis selama menempuh studi di Teknik Elektro ITS.
5. Christabella Rotua Hutapea yang selama ini sudah mendukung dan mengingatkan setiap hari terlebih ketika menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Sahabat asisten Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran, dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) yang selalu memberikan dukungan dan pencerahan.
7. Teman-teman Teknik Elektro ITS angkatan 2011 yang membantu dan mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Serta pihak-pihak lain yang namanya tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Bagaimanapun juga penulis telah berusaha sebaik-baiknya dalam menyusun Tugas Akhir ini, namun penulis mohon maaf apabila terdapat kekurangan, kesalahan maupun kelalaian yang telah penulis lakukan. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan sebagai bahan perbaikan selanjutnya.



Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir dan Manfaat.....	3
1.4 Metodologi	3
1.5 Sistematika Laporan	4
1.6 Relevansi	5
BAB 2 TRANSFORMATOR DAN WAVELET	7
2.1 Transformator	7
2.1.1 Transformator Daya	9
2.1.2 Konstruksi dan Jenis Transformator	10
2.1.3 Kenaikan Temperatur pada Transformator	12
2.1.4 Minyak Transformator	13
2.2 Termografi	15
2.3 Kamera Thermal	16
2.4 Transformasi wavelet.....	16
2.4.1 Wavelet Meyer	18
2.5 Energi dan <i>Power Spectral Density</i>	19
BAB 3. PROSES PENGAMBILAN DATA DAN METODE	
PENELITIAN	21
3.1 Penentuan Objek Pengukuran dan Pengambilan Data	21
3.2 Alat Ukur yang Digunakan	22
3.3 Pengambilan Data Arus Menggunakan Power Quality Analyzer	
HIOKI 3196.....	27
3.4. Pengambilan Data Temperatur Transformator.....	29
3.4.1 Setting Kamera Inframerah	30
3.5 Pengolahan Data Sampel Arus	31

3.5.1 Wavelet dan <i>Power Spectral Density</i> (PSD).....	32
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN HASIL ANALISIS	35
4.1 Data Arus Transformator.....	35
4.2. Data Temperatur Transformator Daya	45
4.3 Pengolahan Data Arus Menggunakan Wavelet	48
4.4 Analisa <i>Power Spectral Density</i>	50
4.4.1 Data Energi dan <i>Power Spectral Density</i>	51
4.4.2 Penentuan Pola <i>Power Spectral Density</i>	56
4.4.2.1 Pengelompokan Menggunakan 6 kelas umur	61
4.4.2.2 Pengelompokan Menggunakan 3 Kelas Umur	63
4.4.2.3 Pengelompokan Menggunakan 2 Kelas Umur	66
4.5 Pengelompokan Umur Transformator Berdasarkan Nilai <i>PSD</i> ..	68
4.5.1 <i>Monitoring</i> Transformator Daya	70
BAB 5 PENUTUP.....	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Penelitian Selanjutnya	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
BIOGRAFI PENULIS	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi batas temperatur pada setiap kelas transformator.	12
Tabel 3.1 Spesifikasi HIOKI 3196.....	23
Tabel 3.2 Spesifikasi kamera FLIR T250	25
Tabel 3.3 Spesifikasi kamera Fluke Ti125	27
Tabel 4.1 Transformator dengan arus nominal 0-100A	36
Tabel 4.2 Transformator dengan arus nominal 101-200A	38
Tabel 4.3 Data temperatur transformator	47
Tabel 4.4 Range frekuensi tiap dekomposisi.....	50
Tabel 4.5 Nilai energi transformator 0 tahun	53
Tabel 4.6 Nilai <i>PSD</i> transformator 0 tahun	53
Tabel 4.7 Nilai Energi transformator 1 tahun.....	53
Tabel 4.8 Nilai <i>PSD</i> transformator 1 tahun.....	53
Tabel 4.9 Nilai energi transformator 2 tahun	54
Tabel 4.10 Nilai <i>PSD</i> transformator 2 tahun	54
Tabel 4.11 Nilai energi transformator 3 tahun	54
Tabel 4.12 Nilai <i>PSD</i> transformator 3 tahun	54
Tabel 4.13 Nilai energi transformator berumur 5 tahun	55
Tabel 4.14 Nilai <i>PSD</i> transformator berumur 5 tahun	55
Tabel 4.15 Nilai <i>PSD</i> transformator range Arus 0-100A berdasarkan..... pengurutan Nilai d1	61
Tabel 4.16 Nilai <i>PSD</i> transformator Range Arus 101-200 A..... berdasarkan pengurutan nilai d1	62
Tabel 4.17 Pengelompokan umur transformator	63
Tabel 4.18 Nilai <i>PSD</i> transformator range arus 0-100A berdasarkan..... pengurutan nilai d1 menggunakan 3 kelas umur.....	63
Tabel 4.19 Nilai <i>PSD</i> transformator range arus 101-200 A berdasarkan... pengurutan nilai d1 menggunakan 3 kelas umur.....	65
Tabel 4.20 Pengelompokan umur transformator	66
Tabel 4.21 Nilai <i>PSD</i> transformator range arus 0-100A berdasarkan..... pengurutan nilai d1 menggunakan 2 kelas umur.....	66
Tabel 4.22 Nilai <i>PSD</i> transformator range umur 101-200 berdasarkan..... pengurutan nilai d1 menggunakan 2 kelas umur.....	67
Tabel 4.23 Pengelompokan umur transformator berdasarkan range arus... dan <i>Power Spectral Density</i>	69
Tabel 4.24 Transformator <i>testing</i>	70
Tabel 4.25 Hasil dari <i>testing</i> transformator.....	72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Transformator distribusi 20 kV/380 V	9
Gambar 2. 2	Transformator (a) tipe Inti satu sasa dan (b) tipe inti..... tiga fasa	11
Gambar 2. 3	Transformator (a) tipe cangkang satu fasa dan (b) tipe..... cangkang tiga fasa	12
Gambar 2. 4	Tiga level <i>wavelet decomposition tree</i>	17
Gambar 3. 1	Power quality analyzer HIOKI 3196	22
Gambar 3. 2	Kamera <i>thermal imaging</i> FLIR T250	26
Gambar 3. 3	Kamera <i>thermal imagers</i> Fluke Ti125	26
Gambar 3. 4	Transformator dan panel transformator	28
Gambar 3. 5	Pengambilan sampel arus pada transformator daya.....	29
Gambar 3. 6	Bentuk gelombang arus hasil sampling menggunakan..... HIOKI 3196	31
Gambar 3. 7	Range frekuensi tiap level dekomposisi.....	32
Gambar 4.1	Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa R	39
Gambar 4.2	Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa S.....	39
Gambar 4.3	Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa T	40
Gambar 4.4	Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 fasa R	40
Gambar 4.5	Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 Fasa S.....	41
Gambar 4.6	Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 fasa T	41
Gambar 4.7	Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa R	41
Gambar 4.8	Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa S.....	42
Gambar 4.9	Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa T	42
Gambar 4.10	Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa R	43
Gambar 4.11	Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa S.....	43
Gambar 4.12	Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa T	44
Gambar 4.13	Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa R	44
Gambar 4.14	Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa S.....	45
Gambar 4. 15	Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa T	45
Gambar 4.16	Gambar hasil kamera <i>thermal imaging</i> FLIR T250 pada... Transformator 0-II	46
Gambar 4.17	Gambar hasil kamera thermal imagers Fluke Ti125 pada transformator 5-RT3.....	47
Gambar 4.18	Hasil dekomposisi wavelet pada transformator 0-RT1... ..	49
Gambar 4.19	Hubungan arus dan <i>PSD</i> d1	56
Gambar 4.20	Hubungan arus dan <i>PSD</i> d2.....	56
Gambar 4.21	Hubungan arus dan <i>PSD</i> d3.....	57

Gambar 4.22 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d4	57
Gambar 4.23 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d5	58
Gambar 4.24 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d6	58
Gambar 4.25 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d7	59
Gambar 4.26 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d8	59
Gambar 4.27 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d9	60
Gambar 4.28 Tampilan program penentuan kelas umur	71

BIOGRAFI PENULIS



Evandro Aditia Sinuraya dilahirkan di Juhar pada 18 Desember 1992. Penulis memulai jenjang pendidikan di SD Budi Murni 2 Medan, SMP Putri Cahaya Medan, dan SMA Santo Thomas 1 Medan hingga lulus tahun 2010. Pada tahun 2010, penulis sempat melanjutkan sekolah selama setahun di Universitas Padjadjaran, Bandung. Pada tahun 2011, penulis pindah ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Jurusan Teknik Elektro. Semasa kuliah, penulis aktif sebagai Asisten Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran, dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Penulis dapat dihubungi melalui email: evandro.aditia@gmail.com

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika laporan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan hal yang sangat penting dalam segala aspek kehidupan. Energi listrik digunakan di semua bidang untuk mensuplai peralatan-peralatan listrik. Energi listrik dihasilkan dari sebuah pembangkit dan disalurkan melalui saluran transmisi hingga distribusi. Saluran distribusi ialah saluran yang berhubungan langsung dengan konsumen. Untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit menuju konsumen melalui saluran distribusi dibutuhkan sebuah transformator daya. Transformator daya yang langsung berhubungan dengan konsumen ialah transformator step down 20 kV/380 V. Sering terjadi kerusakan tiba-tiba pada transformator dikarenakan pemeliharaan transformator yang jarang dilakukan dan sulitnya identifikasi dini kerusakan pada transformator, khususnya minyak transformator.

Secara umum beban yang dipakai oleh konsumen ialah beban non linier. Beban non linier ialah salah satu sumber timbulnya harmonik arus pada transformator. Harmonik yang muncul karena beban non linier akan meningkatkan rugi pada transformator dan akan mengurangi umur penggunaan transformator. Peningkatan rugi transformator yang disebabkan distorsi harmonik dapat menyebabkan rugi belitan yang besar dan kenaikan temperatur yang tidak normal [1]

Minyak transformator ialah salah satu media isolasi pada transformator. Semakin bertambahnya umur penggunaan transformator akan menyebabkan perubahan minyak transformator seperti warna, komponen kimiawi hingga molekul. Kondisi minyak transformator yang buruk dapat menimbulkan panas berlebih. Panas berlebih dapat mengakibatkan kebocoran dielektrik. Jika dibiarkan terus menerus, akan terjadi kerusakan pada transformator yang menyebabkan suplai energi listrik ke konsumen menjadi terhambat.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan studi mengenai minyak transformator dengan menganalisis sampel arus dan hasil foto dari thermal imager. Sampel arus tersebut dianalisis menggunakan metode wavelet meyer sehingga menghasilkan nilai *power spectral density* yang

dapat digunakan untuk pengelompokan kualitas umur minyak transformator. Hasil foto dari *thermal imager* digunakan untuk membantu pengelompokan kualitas minyak transformator. Hal ini didasari bahwa semakin tinggi temperatur transformator maka fungsi minyak transformator sebagai media isolasi dan pendingin tidak berfungsi dengan baik. Oleh karena itu, jika temperatur sebuah transformator tinggi, dapat disimpulkan bahwa kualitas minyak transformator kurang baik.

Kondisi minyak transformator dibandingkan dengan nilai *power spectral density* dari berbagai umur. Dari perbandingan ini dibuat sebuah pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan nilai arus dan *power spectral density*. Jika kualitas minyak transformator dengan umur rendah sama dengan kualitas minyak transformator dengan umur yang lebih tinggi maka kualitas minyak transformator tersebut dapat dikatakan buruk. Jika dibiarkan terus menerus, minyak transformator yang buruk dapat merusak transformator. Penelitian ini dapat menjadi fondasi untuk penelitian selanjutnya dengan lebih banyak lagi parameter yang digunakan. Jika pergantian minyak tranformator dilakukan dengan tepat waktu maka salah satu penyebab kerusakan transformator dapat dihindari sehingga suplai energi listrik ke konsumen tetap lancar

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana input spektrum arus, temperatur dan umur transformator dapat digunakan untuk menentukan kondisi minyak transformator.
2. Bagaimana cara membuat pengelompokkan kondisi transformator daya dengan menganalisis spektrum arus menggunakan metode *meyer wavelet* pada software MATLAB

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Transformator yang akan dijadikan objek penelitian ialah transformator daya 20 kV/380 V
2. Jenis *wavelet* yang digunakan ialah *meyer wavelet* menggunakan software MATLAB
3. Umur aktual transformator yang diukur ialah 0 tahun, 1 tahun, 2 tahun, 3 tahun dan lebih dari 5 tahun

1.3 Tujuan Tugas Akhir dan Manfaat

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui kondisi minyak transformator dengan cara membandingkannya terhadap minyak transformator yang berbeda umur. Dengan cara ini kita dapat mengetahui kondisi minyak transformator tersebut. Semakin tua umur minyak transformator dari hasil analisis tersebut, semakin tinggi nilai *power spectral density* dari sebuah transformator.

Penelitian pada tugas akhir ini memiliki manfaat:

1. Dapat menjadi referensi bagi penelitian berikutnya dengan menggunakan parameter yang lebih banyak lagi
2. Dapat dijadikan acuan awal untuk melihat kondisi minyak transformator
3. Dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa dengan tugas akhir ini

1.4 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga yaitu tahap perancangan sistem, pengujian sistem dan tahap analisis. Adapun penjelasan tentang ketiga sistem tersebut adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Proses awal yang akan dilakukan ialah mencari literatur yang berhubungan dengan tugas akhir yang diambil. Literatur yang digunakan berasal dari jurnal, buku dan internet. Literatur yang digunakan berhubungan dengan transformator distribusi, wavelet dan *power spectral density*

2. Pengambilan data transformator daya

Pada tahapan ini, dilakukan pengambilan data spectrum arus, temperatur transformator daya. Data ini sebagai inputan pada pemodelan wavelet.

3. Pemodelan Wavelet

Pemodelan wavelet dilakukan untuk dapat menganalisis spektrum arus transformator. Hasil dari wavelet adalah data energi dan *power spectral density* (PSD).

4. Pengelompokan kualitas umur minyak transformator

Setelah dianalisis menggunakan wavelet, didapatkan nilai *power spectral density*. Nilai PSD digunakan untuk mengelompokkan kualitas umur minyak transformator yang dianalisis.

5. Penarikan kesimpulan dan pembuatan buku tugas akhir

Penulisan laporan dilakukan sebagai peggambaran kesimpulan dari tugas akhir ini. Kesimpulan tersebut merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Dari studi ini akan diketahui umur minyak transformator dan dapat mengetahui waktu yang tepat untuk melakukan penggantian minyak transformator sehingga salah satu penyebab kerusakan transformator dapat dihindari.

1.5 Sistematika Laporan

Dalam penulisan buku Tugas Akhir ini sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, masalah, tujuan, dan metodologi penelitian, serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB 2 Dasar teori

Bab ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini. Teori ini digunakan sebagai dasar dalam penulisan tugas akhir.

BAB 3 Pengambilan data dan Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang proses pengambilan data transformator. Data transformator yang diambil ialah transformator yang berumur 0 tahun hingga transformator yang berumur lebih dari 5 tahun. Data yang diambil ialah data spektrum arus dan temperatur transformator. Data spektrum arus diambil menggunakan alat power quality analyzer. Selanjutnya data arus diolah menggunakan metode meyer wavelet untuk mendapatkan nilai *power spectral density*. Sedangkan data temperatur transformator diambil menggunakan kamera thermal imaging. Data temperatur digunakan untuk mendukung penentuan kualitas umur minyak transformator

BAB 4 Pengolahan data dan Hasil Analisis

Bab ini berisi tentang hasil dari spektrum arus dan gambar temperatur transformator yang telah diukur. Selain itu, juga ditampilkan hasil dari pengolahan spectrum arus menggunakan software matlab. Hasil yang diperoleh ialah berupa nilai *power spectral density*. Hasil ini selanjutnya digunakan untuk mengelompokkan kondisi minyak transformator tersebut.

BAB 5 Kesimpulan dan Penelitian Selanjutnya

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat ditarik dari proses penelitian yang telah dilakukan. Selain kesimpulan, juga terdapat saran-saran untuk proses penelitian selanjutnya

1.6 Relevansi

Tugas akhir ini menjadi acuan awal dalam menentukan kualitas minyak transformator berdasarkan arus dan temperatur transformator. Arus dari transformator diolah menggunakan metode meyer wavelet sehingga menghasilkan nilai *power spectral density*. Nilai *PSD* dan arus digunakan dalam membuat sebuah pengelompokan umur minyak transformator. Tugas akhir ini juga dapat menjadi awalan untuk menentukan kualitas umur transformator dengan menggunakan parameter arus berbasis nilai *power spectral density*. Diharapkan pada penelitian *selanjutnya* yang mengacu pada penelitian ini, parameter-parameter dalam menentukan kualitas minyak transformator dapat ditambah sehingga keakuratan dalam penentuan kualitas minyak transformator menjadi lebih tinggi



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

BAB 2

TRANSFORMATOR DAN WAVELET

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, peran transformator daya sangatlah besar. Transformator daya digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari produsen ke konsumen. Tanpa adanya transformator daya khususnya transformator daya step down, energi listrik tidak dapat digunakan oleh konsumen. Transformator daya step down digunakan untuk menurunkan rating tegangan menjadi lebih rendah. Tegangan yang telah diturunkan ini akan disalurkan ke konsumen sehingga dapat digunakan untuk mensuplai peralatan-peralatan listrik yang terdapat di rumah tangga.

Transformator ialah peralatan listrik yang membutuhkan bahan isolasi pada saat beroperasi. Bahan isolasi yang dipakai pada transformator ialah minyak transformator. Sama seperti bahan isolasi lainnya, minyak transformator juga memiliki usia pemakaian yang lamanya juga tergantung dari karakteristik beban konsumen yang ditanggung oleh transformator. Semakin besar beban dan harmonik suatu sistem tenaga listrik yang ditanggung transformator, semakin cepat pula isolasi transformator dalam hal ini minyak transformator menjadi rusak. Rusaknya komponen minyak transformator ini dapat mengakibatkan panas yang berlebihan pada transformator. Jika dibiarkan terus-menerus, akan terjadi kerusakan pada transformator. Sehingga suplai listrik menuju konsumen menjadi terhambat.

Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis sampel arus dan temperatur dari beberapa transformator daya step down. Data sampel arus dari sejumlah transformator dengan umur berbeda-beda ini selanjutnya dianalisis menggunakan metode wavelet. Dari Analisis ini, kita dapat mengetahui kondisi minyak transformator tersebut. Apakah minyak tersebut masih layak digunakan atau sudah seharusnya diganti untuk menghindari kerusakan transformator

2.1 Transformator

Transformator ialah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk memindahkan energi listrik atau memindahkan dan mengubah energi listrik bolak-balik dari suatu nilai tegangan tertentu menjadi nilai tegangan yang berbeda.

Pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti besi yang dibuat berlapis-lapis, dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer

dan kumparan sekunder. Kumparan tersebut dipisahkan oleh inti besi sehingga tidak terhubung secara langsung. Hubungan antar kumparan tersebut ialah melalui fluks magnetik bersama yang terdapat dalam inti. Salah satu dari kumparan tersebut dihubungkan ke sumber listrik bolak-balik sedangkan kumparan yang lainnya dihubungkan ke beban yang akan disuplai oleh transformator. Kumparan yang terhubung dengan sumber listrik bolak-balik disebut kumparan primer sedangkan yang lainnya ialah kumparan sekunder. Jika terdapat kumparan ketiga disebut kumparan tersier.

Transformator digunakan dalam setiap sistem tenaga listrik bolak-balik. Dengan transformator, dimungkinkan pengiriman listrik bolak-balik jarak jauh. Secara umum transformator memiliki fungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan listrik. Transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan disebut step up sedangkan transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan listrik disebut step down. Transformator juga memiliki fungsi untuk penstabil tegangan. Maka dari itu, sebelum sampai di konsumen khususnya rumah tangga, distribusi arus listrik akan melalui sebuah transformator agar tegangan yang sampai di konsumen sesuai dengan kebutuhan.

Selain fungsi yang telah dijelaskan diatas, keberadaan transformator juga dapat mengurangi kerugian dalam sistem tenaga listrik. Dalam penyaluran energi listrik, *losses* banyak terjadi akibat dissipasi daya yang muncul. Dissipasi daya menjadi sangat besar disaat arus yang mengalir melewati saluran juga besar. Oleh sebab itu, transformator yang mempunyai fungsi untuk menaikkan tegangan dapat digunakan untuk mengurangi *losses* tersebut. Dengan daya yang sama, disaat tegangan dinaikkan maka arus akan menjadi kecil. Arus kecil tersebut dapat mengurangi *losses* yang muncul akibat panas yang muncul pada saluran transmisi atau distribusi.

Tegangan yang paling tinggi pada sistem kelistrikan di Indonesia saat ini ialah 500 kV. Tegangan ini dibuat sedemikian tinggi berguna untuk mengurangi kerugian yang terjadi pada saat penyaluran energi listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh generator sebagai sumber umumnya berkisar antara 6-20 kV. Selanjutnya tegangan dinaikkan menggunakan transformator pada awal saluran transmisi. Tegangan diturunkan lagi menjadi lebih rendah pada saat mencapai konsumen agar dapat digunakan untuk mensuplai peralatan listrik yang ada. Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik dekat konsumen ialah transformator daya.

2.1.1 Transformator Daya

Transformator daya ialah suatu peralatan listrik yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya dari suatu level tegangan tertentu ke level tegangan lain. Transformator daya dapat digunakan sebagai penaik tegangan (*step up*) ataupun sebagai penurun tegangan (*step down*). Transformator daya juga secara umum digunakan untuk menyalurkan daya dari produsen ke konsumen.



Gambar 2. 1 Transformator distribusi 20 kV/380 V

Transformator yang diproduksi telah melalui sebuah pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan sebelumnya. Standar pengujian transformator yang digunakan untuk menguji sebuah transformator ialah sesuai SPLN'50-1982, sebagaimana juga dijelaskan dalam IEC 76 (1976). Pengujian – pengujian yang dimaksud ialah :

a. Pengujian rutin

ialah pengujian yang dilakukan pada setiap transformer secara rutin, meliputi:

- pengujian tahanan isolasi
- pengujian tahanan kumparan
- pengujian perbandingan belitan pengujian vector group
- pengujian rugi besi dan arus kosong
- pengujian rugi tembaga dan impedansi
- pengujian tegangan terapan (withstand test)

b. Pengujian jenis

ialah pengujian yang dilakukan pada sebuah transformator yang mewakili transformator lain yang sejenis. Pengujian ini dilakukan pada

pengujian ini ialah pengujian yang belum termasuk dalam pengujian rutin. Pengujian jenis meliputi:

- pengujian kenaikan temperatur
- pengujian impedansi

c. pengujian khusus

ialah pengujian selain pengujian rutin dan pengujian jenis. Pengujian ini dilakukan atas persetujuan pabrik dan pembeli. Pengujian ini dilakukan pada satu atau lebih transformator dari sejumlah transformator yang sudah dipesan dalam sebuah kontrak. Pengujian khusus meliputi:

- pengujian dielektrik
- pengujian impedansi urutan nol pada transformator tiga fasa
- pengujian hubun singkat
- pengujian harmonik pada arus beban kosong
- pengujian tingkat bunyi akustik
- pengukuran daya yang diambil oleh motor-motor kipas dan pompa minyak

2.1.2 Konstruksi dan Jenis Transformator

Secara umum, sebuah transformator terdiri dari kumparan dan inti besi. Kedua kumparan ini tidak berhubungan langsung secara fisik tetapi dihubungkan oleh medan magnet. Berikut ialah konstruksi transformator secara umum ialah sebagai berikut:

1. inti (core) yang dilaminasi

Inti besi ialah bagian utama yang berada pada transformator yang berfungsi sebagai jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan transformator. Arus listrik yang melalui kumparan primer terinduksi melalui inti besi. Inti besi menghubungkan kumparan primer dan sekunder. Inti besi dibuat berlapis-lapis agar dapat mengurangi panas dari rugi-rugi besi yang disebabkan edy current

2. kumparan transformator

ialah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi, baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan menggunakan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Jika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menimbulkan induksi tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya beban) maka mengalir arus pada kumparan tersebut.

3. Tangki dan konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator berada atau (ditempatkan) di dalam tangki. Untuk menampung pemuaian pada minyak transformator, pada tangki dilengkapi dengan sebuah konservator

4. sistem pendingin

Pada inti besi dan kumparan transformator akan timbul panas. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan temperatur yang berlebihan, maka dapat merusak isolasi transformator. Maka dari itu, untuk mengurangi kenaikan temperatur yang berlebih pada transformator, diperlukan sistem pendingin yang berfungsi menyalurkan panas keluar dari transformator. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa udara, gas, minyak dan air. Sistem sirkulasi yang padat digunakan ialah alamiah (natural) dan tekanan/paksaan (forced)

5. bushing

Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui sebuah bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator

Sedangkan menurut konstruksinya, transformator dibedakan menjadi dua tipe, yaitu:

a. tipe inti (*core form*)

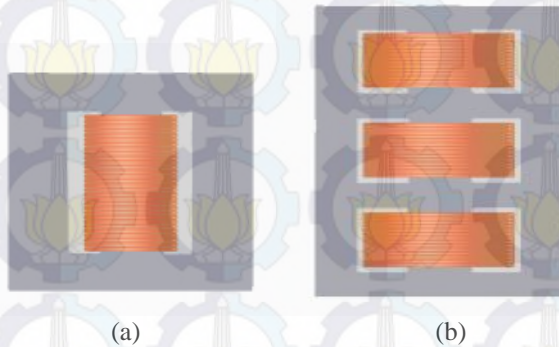
Pada transformator tipe ini, kumparan transformator mengelilingi inti.



Gambar 2. 2 Transformator (a) tipe inti satu fasa dan (b) tipe inti tiga fasa

b. tipe cangkang (*shell form*)

Tipe konstruksi transformator yang kedua ialah tipe cangkang. Pada transformator tipe ini, kumparan atau belitan dikelilingi oleh inti.



Gambar 2. 3 Transformator (a) tipe cangkang satu fasa dan (b) tipe cangkang tiga fasa

2.1.3 Kenaikan Temperatur pada Transformator

Jika pembebanan pada sebuah transformator dinaikkan, maka akan terjadi peningkatan temperatur pada transformator. Kenaikan temperatur pada transformator ini, salah satunya disebabkan oleh semakin besarnya arus yang mengalir pada belitan transformator dan juga induksi besi pada transformator. Panas yang terlalu tinggi dapat berdampak negative pada transformator yakni pada sifat konstruksi transformator tersebut. Setiap transformator memiliki nilai susut umur. Umur pakai transformator direpresentasikan dengan nilai susut umur sebuah transformator. Transformator yang mengalami kenaikan temperatur 9°C dari batas yang sesungguhnya, akan meningkatkan nilai susut umur dari transformator tersebut. Klasifikasi batas temperatur pada setiap kelas transformator dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi batas temperatur pada setiap kelas transformator.[2]

Kelas	Kenaikan Temperatur Transformator ($^{\circ}\text{C}$)	Batas Temperatur Tertinggi
O	40	90
A	50	105
E	60	120
B	70	130
F	85	155
H	95	180

2.1.4 Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Kumparan dan inti transformator direndam di dalam minyak transformator. Secara umum, fungsi minyak transformator ada 3, yakni untuk mengisolasi kumparan transformator agar tidak terjadi loncatan bunga api listrik. Fungsi kedua ialah sebagai pendingin, yaitu dengan cara menyerap panas kemudian panas tersebut disalurkan kedinding transformator dan melepas panas ke udara sekitar. Fungsi ketiga ialah melindungi komponen-komponen di dalam transformator dari bahaya korosi dan oksidasi. Selain ketiga fungsi tersebut, minyak transformator dapat dijadikan acuan untuk menentukan kondisi transformator dan memprediksi umur dari transformator[3]

Suatu minyak transformator harus memenuhi persyaratan sebagai berikut [4]:

1. Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 untuk minyak baru dan belum di filter $> 30 \text{ kv}/2.5 \text{ mm}$. Sedangkan setelah di filter $> 50 \text{ kv}/2.5 \text{ mm}$.
2. Penyaluran panasnya baik dan berat jenisnya kecil sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat
3. Mempunyai viskositas yang rendah sehingga memudahkan untuk bersirkulasi agar kemampuan pendinginan menjadi lebih baik
4. Mempunyai titik nyala yang tinggi dan tidak mudah menguap agar tidak membahayakan kondisi transformator. Sesuai IEC 296 *flash point* minyak transformator di atas 163°C dan *pour point* di bawah -30°C
5. Tidak merusak bahan isolasi padat.

Minyak transformator juga memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi agar dapat dikategorikan sebagai minyak yang baik, yakni:

1. Minyak harus jernih (*appearance*)

Minyak isolasi harus jernih dan tidak mengandung suspensi atau endapan

2. Massa jenis (*density*)

Massa jenis minyak dibatasi agar air tidak tercampur dengan minyak transformator. Minyak transformator memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan massa jenis air. Massa jenis minyak yang harus dipenuhi ialah 0.895 gr/cm^3

3. Tegangan tembus (*Breakdown voltage*)

Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran, debu atau atikel konduktif dalam minyak. Untuk minyak baru, angka tegangan tembus adalah :

- sebelum difilter = $e30kV/2.5\text{ mm}$ atau $e\ 80\text{ KV/mm}$
- setelah difilter = $e50KV/2.5mm$ atau $e\ 120\text{ KV/mm}$

4. Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity*)

Viskositas atau kekentalan minyak memegang peranan penting dalam pendinginan transformator. Viskosita digunakan untuk menentukan kelas minyak dan kurang dipengaruhi oleh kontaminasi atau kekeruhan. Viscositas pada temperatur 20°C antara $25\text{ d x d }40\text{ cSt}$

5. Titik nyala (*Flash point*)

Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat yang mudah terbakar. Titik nyala yang disyaratkan dalam minyak isolasi adalah $e\ 140^{\circ}\text{C}$

6. Titik Tuang (*pour point*)

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi. Nilai yang dipersyaratkan $d-30^{\circ}$

7. Angka kenetralan (*Neutralization Number*)

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam minyak isolasi dan dapat mendekteksi kontaminasi minyak yang menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambah.

Pada kondisi operasi transformator dalam kondisi bertegangan yang dialiri listrik, maka panas yang timbul ialah sekitar 60°C sampai dengan 80°C . Panas ini selanjutnya disalurkan melalui proses konveksi dan radiasi melalui sirip sirip pendingin. Keluar masuknya udara luar yang mengandung zat asam akan bercampur dengan minyak yang selanjutnya akan terjadi per-senyawaan asam dan air yang lambat laun akan menaikkan kadar asam. Bila hal ini dibiarkan terus menerus, akan mengakibatkan kerusakan pada minyak transformator dan lilitan/kumparan transformator. Viscositas minyak menjadi kenatal, kemampuan mendinginkan transformator menjadi rendah dan tegangan tembus akan turun.

Angka kenetralan ini dipakai sebagai petunjuk umum pada transformator. Bila angka ini lebih besar dari 0.03 mgKOH/gr maka minyak sudah harus diganti atau difilter.

8. Korosi belerang (*Corrosiven Sulphur*)

Pengujian ini dilakukan untuk menunjukkan kemungkinan korosi yang disebabkan karena adanya kandungan belerang (sulphur) bebas dalam minyak transformator. Bila dalam minyak transformator terkandung unsur belerang, maka akan terjadi ikatan ion S membentuk senyawa H_2SO_3 (akan terjadi korosif) atau gas H_2S

9. Faktor kebocoran dielektrik (*Dielectrix Dissipation Factor*)

Nilai yang tinggi dari faktor ini menunjukkan adanya kontaminasi misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali dll. Sesuai dengan SPLN, angka yang di syaratkan ialah d 0.05 menurut standar pengujian IEC 250

10. Stabilitas / Kemantapan Oksidasi (*Ozydation Stability*)

Pengujian ini berguna untuk melihat apakah minyak tahan terhadap oksidasi atau tidak

11. Kandungan air (*water content*)

Kandungan air yang tinggi akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak transformator. Adanya kandungan air juga mempercepat kerusakan kertas pengisolasi (*insulating paper*)

12. Tahanan jenis (*resistivity*)

Tahanan jenis yang rendah menunjukkan terjadinya kontaminasi yang bersifat konduktif

13. Tegangan permukann (*Interfacial tension*)

Adanya kontaminas dalam zat yang terlarut pada umumnya dapat menurunkan nilai tegangan permukaan.

14. Kandungan Gas (*Gas Content*)

Adanaya gas yang terlarut dalam minyak transformator dapat digunakan untuk mengetahui kondisi minya transformator

2.2 Termografi

Termografi ialah jenis pencitraan yang dilakukan untuk mengetahui temperatur dari suatu objek tertentu. Termografi pada transformator daya digunakan untuk mengetahui temperatur transformator pada titik-titik tertentu. Dengan termografi kita dapat mengetahui temperatur maksimal dan minimal serta temperatur spot pada transformator. Suhu ini dapat diketahui berdasarkan warna-warna yang ada pada gambar tersebut. Warna yang berbeda merepresentasikan suhu yang berbeda. Oleh karena itu, termografi memungkinkan seseorang untuk melakukan pengukuran suhu secara non-kontak pada suatu objek.

Termografi pada transformator daya menggunakan kamera IR. Radiasi inframerah (IR) tidak dapat terdeteksi oleh mata manusia tetapi kamera IR dapat mengubahnya menjadi gambar visual yang

merepresentasikan variasi thermal pada suatu objek yang teliti. IR merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik. IR dipancarkan oleh semua objek pada suhu diatas suhu mutlak. Jumlah radiasi inframerah akan meningkat sebanding dengan kenaikan suhu objek tersebut.

2.3 Kamera Thermal

Kamera thermal ialah kamera radiasi inframerah yang dipancarkan dari objek yang diukur dan menunjukkannya dalam bentuk gambaran suhu dari permukaan sebuah objek. Hasil yang didapat dari kamera thermal ialah berupa gambar dengan informasi suhu disetiap bagian pada objek transformator yang diteliti. Kamera thermal yang digunakan pada penelitian ini ialah tipe flir 250.

Berikut ialah kondisi yang harus diperhatikan saat pemantauan transformator daya dengan kamera thermal [5]

1. Permukaan peralatan yang akan difoto menggunakan kamera thermal

Logam yang tidak dicat akan mencerminkan bayangan yang ada didepan benda tersebut. Jika bagian dari logam ini difoto menggunakan kamera thermal, maka hasil foto tersebut ialah benda yang tercermin pada logam tersebut. Oleh sebab itu, sebaiknya untuk logam yang akan difoto dengan kamera thermal harus dicat terlebih dahulu agar hasil dari kamera thermal tersebut akurat sesuai dengan objek yang hendak diukur

2. Sistem beban

Peningkatan jumlah beban pada transformator akan meningkatkan temperatur. Saat bebannya tinggi, keadaan thermal cenderung lebih tinggi dibandingkan disaat beban rendah

3. Angin

Angin akan mempengaruhi pendinginan dari alat yang akan diuji

4. Kondisi lingkungan (*ambient conditions*)

Suhu udara dan pemanasan matahari akan mempengaruhi kondisi alat yang akan diuji. Semakin tinggi intensitas matahari, kondisi thermal objek yang akan diuji cenderung lebih tinggi

2.4 Transformasi wavelet

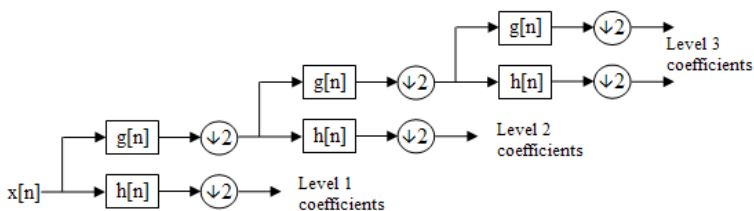
Berdasarkan referensi [6], transformasi wavelet ialah metode transformasi yang mentransformasi signal dalam domain waktu menjadi signal dalam domain waktu dan frekuensi. Metode transformasi ini mengadopsi metode *Fourier Transform* dan *Short Time Fourier Transform*. Transformasi wavelet menggunakan dua komponen penting

dalam melakukan transformasi yakni fungsi skala (*scaling function*) dan fungsi wavelet (*wavelet function*).

Secara umum transformasi wavelet terdiri dari 2, yakni transformasi wavelet kontinu dan transformasi wavelet diskrit. Cara kerja transformasi wavelet kontinu (TWK) adalah dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan setiap skala yang diinginkan. Jendela modulasi yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk wavelet atau fungsi dasar wavelet.

Transformasi wavelet diskrit (*discrete wavelet transform*) dihitung menggunakan dua skala, yakni lowpass dan highpass filter. Filter ini menggunakan domain waktu diskrit. Secara sederhana DWT dapat dicari dengan menggunakan *filter bank*. Sinyal sumber diklasifikasikan menjadi *high-pass filter* dan *low-pass filter*. Hasil dari *high-pass filter* selanjutnya disebut *detail coefficient* sedangkan hasil *low-pass filter* disebut *approximation coefficient*.

. Proses pemisahan sinyal dilakukan secara berulang-ulang sampai menghasilkan sinyal yang diinginkan . Sinyal yang rusak akan berada pada layer yang paling bawah. Teori ini disebut dengan pohon dekomposisi wavelet (*wavelet decomposition tree*)



Gambar 2.4 Tiga level *wavelet decomposition tree*

Pada gambar diatas, awalnya sinyal dilewatkan di filter *high pass* dan *low pass*. Setengah dari masing-masing hasilnya diambil untuk jadi sampel melalui operasi *sub-sampling*, proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari filter low-pass digunakan sebagai masukan di proses dekomposisi tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan.

Pada dasarnya, implementasi DWT ialah bagaimana mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan pemfilteran digital dan operasi subsampling. Implementasi siny diskrit dapat dilihat pada rumus berikut

$$[n] = \sum_k a_{j_0,k} \phi_{j_0,k}[n] + \sum_{j=j_0}^{j-1} \sum_k d_{j,k} \phi_{j,k}[n] \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana

$\phi[n]$ = fungsi skala

$\varphi[n]$ = wavelet induk

$\phi_{j_0,k}[n] = 2^{j_0/2} \phi(2^{j_0}n - k)$ = fungsi skala dari $s = 2^{j_0}$

$k, \phi_{j_0,k}[n] = 2^{j/2} \varphi(2^j n - k)$ = wavelet induk skala dari $s = 2^j$

$d_{j,k}$ = koefisien detail skala dari $s = 2^{j_0}$ dan $N = 2^j$

N = nomor sampel dari $x[n]$

2.4.1 Wavelet Meyer

Meyer ialah nama salah satu dari jenis wavelet yang paling bagus dan detail dalam filter sinyal. Fungsi wavelet meyer ialah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{\Psi}(\omega) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{\frac{i\omega}{2}} \sin\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{2}{2\pi}|\omega| - 1\right)\right) \\ \text{jika } \frac{2\pi}{3} &\leq |\omega| \leq \frac{4\pi}{3} \\ \hat{\Psi}(\omega) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{\frac{i\omega}{2}} \cos\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{3}{4\pi}|\omega| - 1\right)\right) \\ \text{jika } \frac{4\pi}{3} &\leq |\omega| \leq \frac{8\pi}{3} \\ \hat{\Psi}(\omega) &= 0 \\ \text{jika } |\omega| &\notin \left[\frac{2\pi}{3}, \frac{8\pi}{3}\right] \dots \dots \dots (2.2) \end{aligned}$$

Sedangkan fungsi pen skalaan dari *wavelet Meyer* adalah:

$$\begin{aligned} \hat{\phi}(\omega) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \\ \text{jika } |\omega| &\leq \frac{2\pi}{3} \\ \hat{\phi}(\omega) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \cos\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{2}{2\pi}|\omega| - 1\right)\right) \\ \text{jika } \frac{2\pi}{3} &\leq |\omega| \leq \frac{4\pi}{3} \\ \hat{\phi}(\omega) &= 0 \quad \text{jika } |\omega| \geq \frac{4\pi}{3} \dots \dots \dots (2.3) \end{aligned}$$

2.5 Energi dan *Power Spectral Density*

Energi dan *Power Spectral Density* ialah hasil yang diperoleh dari filter wavelet. Energi ialah penjumlahan kuadrat nilai-nilai data pada setiap level range frekuensi sinyal tertentu. Pada penelitian ini, nilai yang dipakai ialah nilai High pass filter. Sedangkan *Power Spectral Density* (*PSD*) ialah hasil bagi antara energi dengan nilai tertinggi range frekuensi masing-masing level sinyal tertentu.

$$\text{Energi} = \sum_{d_0}^{d_1} f(\text{HPF})_n^2 \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\text{PSD} = \frac{\text{Energi}}{f(\text{HPF})_n} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana

d_1 = range akhir dari jumlah data

d_0 = range awal dari jumlah data

$f(\text{HPF})_n$ = Frekuensi high pass filter atau sinyal detail

n = level sinyal detail



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

BAB 3

PROSES PENGAMBILAN DATA DAN METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Tahapan tersebut dimulai dari penentuan objek yang akan dijadikan objek penelitian sampai dengan hasil dari parameter-parameter yang didapatkan dari pengukuran dan pengamatan yang dilakukan. Parameter yang dimaksud ialah arus, suhu dan umur transformator. Parameter arus diolah dengan menggunakan metode yang telah ditentukan. Hasil dari pengolahan ini menghasilkan pengelompokan-pengelompokan yang dapat digunakan untuk *Monitoring* terhadap transformator daya.

3.1 Penentuan Objek Pengukuran dan Pengambilan Data

Sebelum melangkah ke proses penelitian, hal pertama yang dilakukan ialah penentuan objek yang akan diukur. Objek yang dimaksud disini ialah transformator. Pada penelitian ini, akan dilakukan pengambilan sampel arus dan data harmonik dari beberapa transformator daya. Transformator daya yang akan diukur ialah transformator daya step down 20 kV/380 V. Transformator daya ini ialah transformator daya yang langsung berhubungan langsung dengan konsumen. Pengukuran dilakukan di sisi sekunder transformator yakni pada level tegangan 220 volt. Selain pengambilan data arus dan harmonik, akan dilakukan pengambilan data suhu transformator tersebut menggunakan kamera *thermal*. Pengambilan data suhu diambil lebih dari sekali untuk tiap transformator. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Transformator yang dianalisis dalam penelitian ini ialah transformator daya yang berlokasi di daerah Mojokerto, Nganjuk dan Surabaya utara. Penentuan transformator yang akan diukur ialah transformator yang bervariasi dari segi umur transformator. Pada penelitian ini, transformator yang diukur ialah transformator yang berumur 1 tahun, 2 tahun, 3 tahun dan lebih dari 5 tahun. Semakin bervariasi umur transformator, semakin banyak penggolongan yang dapat dibuat pada kesimpulan penelitian ini. Umur transformator yang dijadikan fokus bahasan dalam penelitian ini ialah umur minyak transformator. Umur tersebut dihitung dari waktu terakhir penggantian minyak transformator.

3.2 Alat Ukur yang Digunakan

Pada penelitian ini, dilakukan proses pengambilan sampel arus, harmonik dan suhu dari transformator daya. Pengambilan sampel arus dilakukan pada sisi sekunder transformator daya menggunakan alat ukur power quality analyzer. Tipe power quality yang digunakan ialah HIOKI 3196. Berikut ini ialah bentuk alat ukur yang digunakan saat pengukuran.



Gambar 3. 1 Power quality analyzer HIOKI 3196

Power quality analyzer HIOKI 3196 ialah alat ukur yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas daya. Alat ukur ini dapat mengukur tegangan, arus, daya, power faktor, harmonik, transien dan masih banyak parameter lainnya. Alat ini memiliki 8 probe tegangan dan 4 clamp arus. Probe tegangan dipasang untuk mengukur tegangan sedangkan clamp arus dipasang mengitari kabel listrik ataupun saluran tenaga listrik. Untuk pemasangan probe tegangan, 3 probe dipasang pada masing-masing saluran fasa yakni fasa R,S,T dan Netral. Keempat probe lainnya dipasang pada ground.

Pada pengukuran ini, pengukuran difokuskan pada pengambilan sampel arus dimasing-masing fasa pada transformator. Sampel arus yang diambil ialah sampel arus yang telah mengandung harmonik baik dari beban, transformator maupun dari sistem kelistrikan tersebut. Pada saat pengambilan data berupa sampel arus, data yang di *record* disimpan didalam memori HIOKI. Setelah data direkam, data tersebut dipindahkan ke laptop. Data tersebut diolah menggunakan software HIOKI yang telah diinstal sebelumnya. Pengolahan data tersebut menghasilkan

output data berupa gelombang arus. Dibawah ini ditampilkan spesifikasi dari power quality analyzer HIOKI 3196

Tabel 3.1 Spesifikasi HIOKI 3196

Spesifikasi Dasar	
Waktu hidup baterai	baterai lithium 10 tahun (referensi pada 23°C, 73°F)
Fungsi jam	kalender otomatis, tahun kabisat otomatis, 24 jam
Kapasitas memori data internal	13 MB
Periode perekaman maksimum	1 bulan (ketika menggunakan memori internal)
Maksimum <i>event</i>	Eksternal kontrol terminal
Suplai daya	-9458 AC ADAPTER (SINO-AMERICA SA 60-12V) (12VDC \pm 5%, 4.5 A) Tegangan: 100 sampai 240 VAC 50/60 Hz, maksimum arus dirating 1.2 A -9459 BATERAI (Sanyo 6HR-AU Ni-MH) untuk cadangan selama listrik mati
Fungsi isi ulang daya	menggunakan AC ADAPTER 9458 atau BATERAI 9459 untuk mengisi ulang ketika 3196 beroperasi
Rating daya maksimum	40 VA
Waktu operasi baterai kontinyu	sekitar 30 menit dengan BATERAI 9459 (terisi penuh, 23°C, 73°F)
Dimensi	sekitar 298W x 215H x 67D mm(tidak termasuk bagian dalam yang menonjol) (11.73"W x 8.46"H x 2.64 "D)
Berat	2 kg (70.5 oz) (tanpa baterai), (berat baterai kira-kira 250 g (8.8 oz))
Kualitas daya berdasar standar	IEEE1159

Spesifikasi Tampilan	
Tampilan bahasa	Inggris, Jerman, Perancis, Italia, Spanyol atau Jepang
Tampilan perangkat	6.4 inch TFT LCD warna (640 x 480 piksel)
Spesifikasi Interface Eksternal	
Interface kartu PC	
Slot	Tipe II menyesuaikan kartu PCMCIA / kartu PC JEIDA standar basis 1
Kartu Memori penunjang	kartu flash ATA (minimal 13 MB)
Kapasitas penyimpanan	528 MB
Format data	MS-DOS
Isi rekaman	pengaturan file, binary, teks dan data gambar layar
Interface RS-232C	
Sesuai standar	RS-232C EIA RS-232C, CCITT V.24, JIS X5101
Penghubung	satu 9-pin D-sub
Koneksi alat	printer atau modem
Protokol komunitas	PPP atau TCP / IP (modem saja)
Fungsi cetak	<i>hard copy</i>
Interface LAN	
Penghubung	10Base-T , konektor RJ-45 x 1
Protokol komunikasi	Ethernet, TCP/IP

Selain untuk mengukur parameter-parameter kualitas daya, pengukuran juga dilakukan pada suhu transformator tersebut. Pada penelitian ini, pengukuran suhu transformator menggunakan *thermal imaging* FLIR T250. Bentuk kamera ini ialah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2. FLIR T250 merupakan salah satu jenis kamera inframerah. Dengan kamera ini, dapat diketahui suhu pada spot atau area yang ditunjuk pada saat pengambilan gambar. Kamera ini tidak hanya menangkap foto dalam bentuk inframerah, tetapi dapat juga digunakan menangkap foto digital biasa ataupun hitam putih. Adapun spesifikasi kamera ini ialah seperti yang tertera pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Spesifikasi kamera FLIR T250

Merk	Flir
Tipe	T250
Pencitraan dan data optik :	
Sudut pandang (POV)	25° x 19°
Jarak fokus minimum	0.4 m (1.31 ft)
Fokus length	18 mm (0.7 in)
Resolusi spasial (IFOV)	1.82 mrad
Lensa identifikasi	Otomatis
F-number	1.3
Sensitifitas panas /NTED	<0.08°C @ + 30°C (+86°F)/80 mK
Frekuensi gambar	9 Hz
Fokus	Otomatis atau manual
Digital Zoom	1-2x kontinyu, digital zoom
Detektor data :	
Tipe detector	Focal plane array (FPA), uncooled Microbolometer
Rentang spectrum	7.5-13 µm
Resolusi IR	240 x 180 pixels
Presentasi gambar :	
Layar	Layar sentuh 3.5 in. LCD, 320 x 240 pixels
Pengaturan gambar	Otomatis (min. rentang 4°C / 7.2 °F) atau manual (min. rentang 2°C/3.6 °F)
Pengukuran :	
Rating temperatur objek	-20°C to + 120 °C (-4° F to + 248°F) 0°C to +350°C (+32°F to +662°F)
Ketelitian	±2°C (±3.6°F) atau ±2% dari pembacaan



Gambar 3. 2 Kamera *thermal imaging* FLIR T250

Kamera *Thermal* yang digunakan pada penelitian ini selain FLIR T250 ialah Fluke Ti125. Kamera Fluke Ti125 ditunjukkan pada gambar 3.3. Berbeda dengan kamera biasanya, bentuk kamera ini memanjang keatas sehingga gampang untuk digunakan. Kamera ini memiliki jarak fokus minimum sebesar 15 cm. Memori eksternal yang dimiliki oleh kamera ini sangat mudah dalam pemindahan data yang diambil saat dilapangan. Spesifikasi alat ini ditunjukkan pada tabel 3.3



Gambar 3. 3 Kamera *thermal imagers* Fluke Ti125

Tabel 3.3 Spesifikasi kamera fluke Ti125

Merk	Fluke
Tipe	Ti125
Pencitraan dan data optik :	
Jarak fokus minimum	15 cm (6 in)
Resolusi detector	160 X 120 (19.200 pixels)
Resolusi spasial (IFOV)	3.39 mRad
Sensitifitas panas /NTED	<0.10°C @ 30°C target temp (80 mK)
Frekuensi gambar	30 Hz atau 9 Hz
Penyimpanan data dan Pengambilan gambar	
Pilihan memori eksternal	Removable 4 Gb SD memory card dan 8 Gb wireless SD Card
Format gambar	Non radiometric (.bmp) dan fully-radiometric (.isl). Tidak membutuhkan software untuk menganalisis (.bmp, .jpg, dan .avi)
Video Streaming	Via USD to PC
Baterai	
Baterai (replaceable, rechargeable)	<i>Two lithium ion with five-segment LED display to show charge level</i>
Sistem charging AC	<i>Two-bay battery charger or imager charging. Adapter 12 V</i>
Spesifikasi Umum	
Ukuran	28.4 cm x 8.6 cm x 13.5 cm (11.2 in x 3.4 in x 5.3 in)
Berat	0.73 kg (1.6 lb)
Garansi	2 tahun

3.3 Pengambilan Data Arus Menggunakan Power Quality Analyzer HIOKI 3196

Pada data parameter kualitas daya menggunakan power quality analyzer HIOKI 3196. Kemampuan alat ukur ini ialah dapat mengukur beberapa parameter kualitas daya seperti yang telah disebutkan pada tabel 3.1. Pada dasarnya HIOKI 3196 ialah alat ukur yang digunakan untuk mengukur daya 3 fasa.

Pengukuran sampel arus dilakukan pada panel transformator yang berada di bawah transformator. Panel tersebut terhubung langsung dengan sisi sekunder transformator. Saluran R,S,T dari transformator langsung terhubung ke panel tersebut. Tegangan sistem yang ada di panel tersebut ialah 220 V. Tegangan ini merupakan tegangan yang terhubung ke konsumen.

Gambar 3.4 merupakan contoh gambar transformator dan panel transformator yang dijadikan objek penelitian. Tranformator terletak di atas sedangkan panel tranformator terletak dibawahnya. Pada gambar tersebut, panel transformator ialah kotak yang berwarna kuning.



Gambar 3. 4 Transformator dan panel transformator

Pemasangan alat HIOKI 3196 dilakukan pada saluran fasa yang terdapat didalam kotak tersebut. Probe tegangan dipasang pada saluran R, S dan T. clamp arus dipasang pada mengitari saluran fasa masing-masing fasa. Gambar 3.5 merupakan gambar saat pengukuran dilakukan. Dari gambar tersebut dapat dilihat 3 clamp arus berwarna biru yang mengitari saluran fasa yang digunakan untuk mengukur arus tiap fasanya. Selain itu, juga terdapat probe tegangan yang digunakan untuk mengukur tegangan tiap fasanya. Perpaduan probe tegangan dan clamp arus dapat menghasilkan nilai daya dan nilai-nilai lain yang berhubungan dengan *power quality*.



Gambar 3. 5 Pengambilan sampel arus pada transformator daya

Data sampel arus yang diukur disimpan didalam memori HIOKI 3196. Setelah pengukuran selesai, dilakukan pemindahan data ke laptop. Sebelum data dipindahkan, laptop juga harus terlebih dahulu diinstal dengan software HIOKI. Selanjutnya dengan software tersebut, didapatkan data sampel arus yang dibutuhkan untuk penelitian ini. Dari pengolahan data menggunakan software HIOKI, banyak parameter yang dapat ditampilkan. Parameter-parameter tersebut ialah nilai arus nominal tiap fasa, tegangan, harmonik arus, harmonik tegangan dan masih banyak nilai power quality yang lain. Gambar tampilan software dapat dilihat pada bagian lampiran.

3.4. Pengambilan Data Temperatur Transformator

Pengambilan data temperatur transformator menggunakan kamera *thermal* inframerah. Pengambilan gambar dilakukan dengan cara mengarahkan kamera *thermal* kearah transformator daya. Pada saat pengambilan gambar, terlihat temperatur dari spot yang terdapat pada transformator tersebut. Dari gambar tersebut dapat dilihat persebaran temperatur dari transformator. Pada sisi kanan gambar tersebut terdapat keterangan warna pada gambar yang merepresentasikan temperatur transformator. Semakin terang warna sebuah spot pada transformator, semakin tinggi temperatur transformator tersebut.

Gambar hasil kamera thermal FLIR T250 dapat dilihat pada halaman lampiran. Keterangan warna hasil kamera ini terdapat pada

gambar bagian kanan. Terdapat skala maksimal dan minimal pada gambar hasil kamera ini. Nilai maksimal menandakan bahwa temperatur maksimal dari gambar tersebut ialah nilai tersebut dan biasanya terletak pada transformator. Skala maksimal tersebut juga ditandai dengan warna yang paling terang pada gambar tersebut. Skala temperatur tersebut dapat berubah-ubah sesuai dengan temperatur dari objek yang diteliti.

Pada gambar hasil kamera FLIR T250 juga terdapat temperatur spot yang berarti temperatur pada titik yang ditunjuk oleh kursor pada gambar tersebut. Temperatur spot ini dapat berubah sesuai dengan spot yang ditunjuk pada gambar. Temperatur spot ini berguna untuk mengetahui temperatur pada spot tertentu agar pembacaan dapat lebih akurat dibandingkan dengan hanya membandingkan warna dengan skala yang ada pada gambar. Pada hasil gambar hasil kamera tersebut, suhu yang digunakan sebagai suhu transformator ialah suhu skala maksimal.

Kamera yang digunakan selain FLIR T250 ialah Fluke Ti125. Contoh hasil dari kamera *thermal* Fluke Ti125 ialah gambar 3.6. Dari gambar tersebut dapat diketahui temperatur dari objek yang kita ambil. Kita dapat mengarahkan titik pada kamera untuk mengetahui temperatur pada suatu titik tertentu. Selain temperatur titik tersebut, juga dapat diketahui temperatur tertinggi dan terendah dari gambar yang tertera pada kamera. Nilai temperatur tertinggi pada gambar tersebut diwakili dengan HI sedangkan nilai temperatur terendah diwakili dengan LO. Selanjutnya nilai HI inilah yang kita ambil untuk mewakili temperatur transformator.

3.4.1 Setting Kamera Inframerah

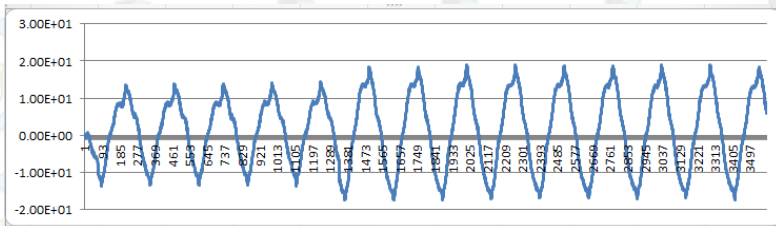
Untuk mendapat hasil yang baik, sebelum digunakan kamera Inframerah disetting terlebih dahulu. Berikut ialah settingan yang dibuat terhadap kamera inframerah :

1. *Emmissivity*, setting ini digunakan untuk mengatur tingkat penyerapan oleh bahan objek yang akan diambil gambarnya
2. *Reflected temperature*, setting ini digunakan untuk mengatur perkiraan suhu pantulan dari objek
3. *Distance*, setting ini digunakan untuk mengukur jarak ambil kamera dan objek. Pengaturan *distance* berguna untuk melihat tingkat presisi dari kamera inframerah
4. *Atmospheric temperature*, setting ini digunakan untuk mengatur suhu sekitar dari kamera inframerah

5. *Relative humidity*, setting ini digunakan untuk mengatur tingkat kelembapan dari lingkungan objek yang akan diukur

3.5 Pengolahan Data Sampel Arus

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai cara pengolahan data sampel arus. Data sampel arus yang telah didapat ialah data gelombang arus. Gelombang arus tersebut ialah gelombang arus yang telah terdistorsi oleh harmonik yang muncul pada sistem tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan analisis ketiga fasa yang ada pada transformator



Gambar 3. 6 Bentuk gelombang arus hasil sampling menggunakan HIOKI 3196

Dari gelombang tersebut, dapat dilihat bahwa hasil *sampling* yang dilakukan menggunakan HIOKI 3196 menghasilkan gelombang arus sebanyak 14 gelombang. Sedangkan jumlah data yang dihasilkan ialah sebanyak 3584. Frekuensi sampling alat ini ialah 12800 Hz.

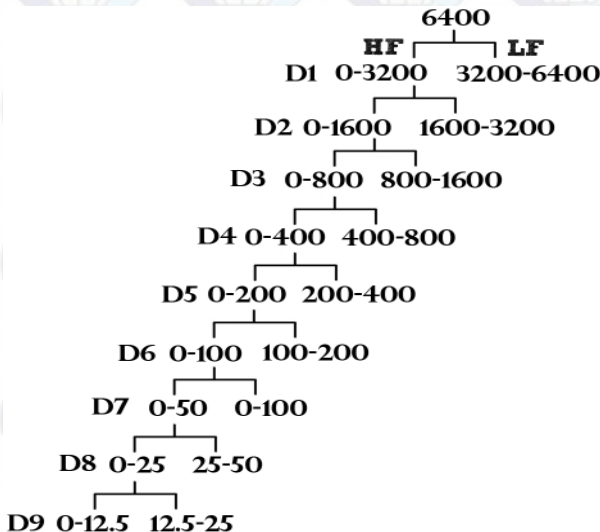
Pengolahan sampel arus pada penelitian ini menggunakan software matlab. Sampel arus menurut umur minyak transformator yang telah didapat selanjutnya diolah menggunakan metode *discrete wavelet transform*. Metode ini digunakan untuk memecah sinyal arus menjadi beberapa kelompok frekuensi.

Pada metode *discrete wavelet transform*, pemecahan sinyal dibagi menjadi 2 yakni *high frequency* dan *low frequency*. Tahapan ini dilakukan hingga akhirnya mendapatkan *range* frekuensi yang diinginkan. Pembagian frekuensi didasarkan pada frekuensi *sampling* yang ditentukan pada saat pengukuran. Sinyal dengan frekuensi tinggi digunakan untuk mencari energi dan *power spectral density (PSD)* dalam suatu range tertentu. Sedangkan untuk sinyal frekuensi rendah, masih digunakan untuk dipecah lagi menjadi *range* yang lebih kecil lagi. Pemecahan sinyal ini akan menghasilkan sinyal *high frequency* dan *low*

frequency berikutnya dengan *range* frekuensi yang lebih kecil. Proses ini dilakukan sampai 9 tahap hingga mendapat *range* frekuensi yang akan dianalisis.

3.5.1 Wavelet dan *Power Spectral Density* (PSD)

Pada penelitian ini, digunakan metode *discrete wavelet transform* untuk memecah sinyal menjadi 2 klasifikasi sinyal, yakni frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Frekuensi rendah dinamakan approximation coefficient sedangkan frekuensi tinggi dinamakan detail coefficient. Hasil pemecahan sinyal yang pertama disebut dengan dekomposisi pertama (D1). Selanjutnya sinyal dengan frekuensi rendah dipecah lagi sehingga menghasilkan 2 klasifikasi sinyal dengan *range* frekuensi yang lebih rendah. Dekomposisi ini dinamakan dekomposisi kedua (D2). Sinyal dengan frekuensi rendah dari hasil D2 ini selanjutnya dipecah lagi hingga menghasilkan 2 kelompok sinyal lagi. Begitu seterusnya hingga menghasilkan Dekomposisi kesembilan (D9). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan berikut.



Gambar 3. 7 Range frekuensi tiap level dekomposisi

Dari bagan diatas dapat dilihat bahwa proses dekomposisi yang pertama menggunakan wavelet membagi data menjadi 2 bagian yakni *low frequency* dan *high frequency*. *Low frequency* disebut dengan *approximation coefficient* sedangkan *high frequency* disebut *detail coefficient*. Pada dekomposisi ini, rentang frekuensi *approximation coefficient* ialah 0-3200Hz sedangkan rentang frekuensi *detail coefficient* ialah 3200-6400.

Untuk dekomposisi yang kedua, nilai *approximation coefficient* pada dekomposisi pertama dijadikan sebagai input. Hasil dari dekomposisi ini menghasilkan 2 range frekuensi yang lebih kecil yakni 0-1600 dan 1600-3200. Proses ini berlanjut hingga dekomposisi 9 yang menghasilkan range frekuensi 0-12.5 pada *low frequency* dan 12.5-50 pada *high frequency*.

Dari hasil pengolahan sinyal arus menggunakan wavelet, hasil sinyal yang diolah ialah data *detail frequency*. Data ini digunakan untuk menghitung energi dan *PSD* pada range frequency yang diambil. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa frekuensi fundamental terletak pada dekomposisi kedelapan. Hal ini juga dibuktikan dengan nilai *PSD* yang sangat besar pada dekomposisi tersebut.



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN HASIL ANALISIS

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai data-data yang digunakan dalam penelitian ini. Salah satu data yang digunakan dalam penelitian ini ialah gelombang arus hasil *sampling* menggunakan alat power quality analyzer. Power quality analyzer yang digunakan ialah tipe Hioki 3196. Selain gelombang arus, data kedua yang digunakan dalam penelitian ini ialah hasil foto menggunakan *thermal imaging camera*. Dari gambar tersebut kita dapat mengetahui temperatur dari sebuah transformator. Dari penelitian ini, ternyata data temperatur yang didapat belum dapat digunakan sebagai data pendukung tambahan dalam menentukan penggolongan minyak transformator.

Gelombang arus yang didapat selanjutnya diolah menggunakan software matlab dengan metode wavelet meyer. Hasil dari *running wavelet* juga akan ditampilkan dalam bab ini. Selanjutnya hasil dari analisis arus berupa nilai *power spectral density* menghasilkan pengelompokan umur minyak transformator.

4.1 Data Arus Transformator

Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran terhadap 34 transformator. Transformator tersebut dibagi menjadi 2 bagian yakni 25 transformator yang digunakan untuk membuat pengelompokan nilai *power spectral density* dan 9 transformator yang digunakan sebagai transformator *testing*. Pada subbab ini akan dibahas mengenai 25 transformator yang digunakan untuk membuat pengelompokan nilai *PSD* sedangkan transformator *testing* akan dibahas pada subbab 4.5.

Transformator-transformator yang dijadikan objek penelitian pada tugas akhir ini memiliki umur yang beragam. Umur transformator yang diukur pada penelitian ini ialah transformator yang berumur 0 sampai lebih dari 5 tahun. Umur transformator tersebut mewakili umur minyak transformator tersebut. Selain umur, transformator juga dibagi kedalam 2 range arus yaitu range arus 0-100A dan 101-200A. Pada range arus 0-100 A terdapat 16 transformator dengan beberapa umur minyak transformator. Data arus transformator ini dapat dilihat pada tabel 4.1. Untuk transformator dengan range arus 101-200, Terdapat 9 buah transformator. Data arus transformator yang masuk kedalam range 101-200 A dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.1 Transformator dengan arus nominal 0-100A

Transformator dengan arus nominal 0-100A				
No	Nama	Fasa	Arus Nominal	Arus rata-rata
1	0-RT1	R	22.64	33.80
		S	37.11	
		T	41.64	
2	0-RT2	R	66	73.65
		S	75.4	
		T	79.56	
3	0-RT3	R	79.25	93.66
		S	79.44	
		T	122.28	
4	0-II	R	2.35	3.38
		S	5.06	
		T	2.74	
5	0-S1	R	7.32	7.83
		S	11.29	
		T	4.88	
6	1-RT1	R	13.98	7.84
		S	4.02	
		T	5.51	
7	1-RT2	R	68.67	35.74
		S	21.44	
		T	17.12	
8	1-RT3	R	23.29	17.40
		S	13.55	
		T	15.35	
9	1-RT4	R	113.36	56.41
		S	28.61	
		T	27.26	
10	1-B1	R	62.39	50.95
		S	48.2	
		T	42.25	
11	1-II	R	37.8	32.12
		S	28.9	
		T	29.65	
12	2-RT1	R	24.3	14.36
		S	11.59	
		T	7.2	
13	2-RT2	R	11.27	14.90
		S	25.73	
		T	7.7	
14	2-II	R	1.47	3.53
		S	5.44	
		T	3.69	
15	2-I2	R	2.28	2.39

Transformator dengan arus nominal 0-100A				
16	3-RT1	S	3.38	84.64
		T	1.52	
		R	103.27	
		S	57.14	
		T	93.51	

Tabel 4.1 menampilkan daftar transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100 A. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai arus nominal transformator pada fasa R,S dan T serta arus rata-rata transformator tersebut. Arus rata-rata ialah hasil rata-rata arus dari fasa R,S dan T pada transformator. Arus rata-rata inilah yang digunakan dalam penentuan kelas transformator berdasarkan range arusnya. Dari tabel ini dapat dilihat terdapat 16 transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A.

Dari tabel tersebut dapat dilihat beberapa jenis transformator yakni 0-RT1, 0-I1, 0-S1 dan 1-B1. Transformator RT memiliki kepanjangan rumah tangga yang artinya transformator tersebut mensuplai jenis pelanggan rumah tangga. Transformator I memiliki kepanjangan Industri yang artinya transformator tersebut mensuplai jenis pelanggan Industri. Transformator S memiliki kepanjangan Sosial yang artinya transformator ini mensuplai jenis pelanggan sosial. Yang terakhir ialah B yang artinya transformator ini mensuplai jenis pelanggan bisnis. Jenis pelanggan ini merupakan penggolongan yang dibuat oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) untuk menggolongkan jenis pelanggannya.

Tabel 4.2 menampilkan daftar transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200 A. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai arus nominal transformator pada fasa R,S dan T serta arus rata-rata transformator tersebut. Arus rata-rata ialah hasil rata-rata arus dari fasa R,S dan T pada transformator. Arus rata-rata inilah yang digunakan dalam penentuan kelas transformator berdasarkan range arusnya. Dari tabel ini dapat dilihat terdapat 9 transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A.

Dari data tersebut dilihat bahwa mayoritas transformator yang memiliki range arus 101-200A ialah transformator dengan umur tinggi yakni 5 tahun sedangkan transformator 0-100A ialah transformator

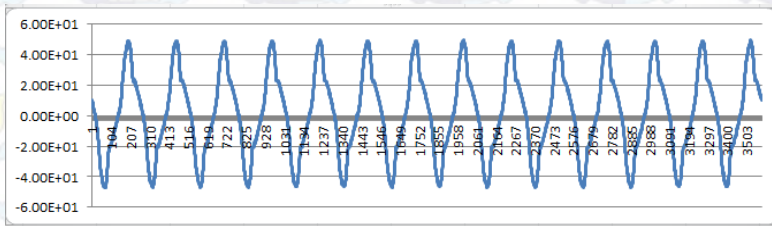
Tabel 4.2 Transformator dengan arus nominal 101-200A

Transformator dengan arus nominal 101-200A				
No	Nama	Fasa	Arus Nominal	Arus rata-rata
1	2-RT3	R	139.97	138.40
		S	99.63	
		T	175.61	
2	3-RT2	R	125.98	121.46
		S	140.15	
		T	118.24	
3	5-RT1	R	131.21	137.49
		S	106.58	
		T	174.67	
4	5-RT2	R	122.28	114.75
		S	100.48	
		T	121.5	
5	5-RT3	R	135.01	138.22
		S	131.74	
		T	147.9	
6	5-RT4	R	136.39	130.73
		S	141.24	
		T	114.57	
7	5-RT5	R	154.91	134.29
		S	125.95	
		T	122.01	
8	5-RT6	R	177.76	112.04
		S	107.17	
		T	112.04	
9	5-RT7	R	113.3	130.75
		S	130.91	
		T	148.05	

dengan umur yang relatif lebih rendah yakni 0,1 dan 2 tahun. Kondisi dilapangan menunjukkan bahwa semakin tinggi umur transformator, semakin besar beban yang harus disuplai transformator tersebut diakibatkan semakin lama transformator beroperasi semakin bertambah jumlah beban yang harus disuplai oleh sebuah transformator. Oleh karena itu, untuk range arus 101-200 hanya didapatkan 1 transformator yang berumur 2 tahun. Transformator lain yang masuk ke dalam range arus ini ialah transformator berumur 3 dan lebih dari 5 tahun.

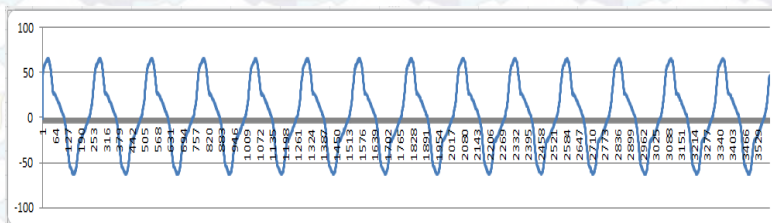
Dari kedua tabel diatas, dapat dilihat bahwa pengukuran arus yang dilakukan ialah pengukuran 3 fasa yakni pada fasa R,S dan T. Transformator yang dijadikan objek penelitian ini ialah transformator

daya step down 20 kV/380 V dengan kapasitas terpasang 100 kVA. Berikut ialah beberapa bentuk gelombang arus hasil *sampling* yang dilakukan pada transformator.



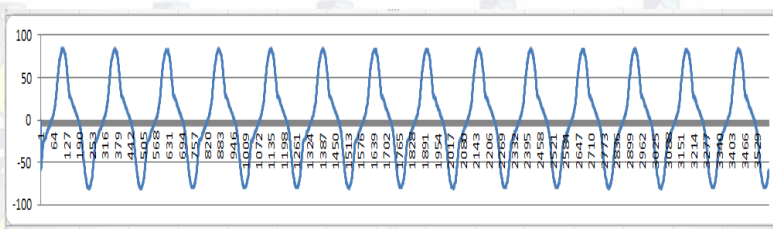
Gambar 4.1 Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa R

Gambar 4.1 ialah gambar gelombang arus hasil *sampling* menggunakan power quality analyzer HIOKI 3196. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh dari gelombang arus yang diambil dari transformator 0 tahun fasa R. Penamaan transformator tersebut pada penelitian ini ialah transformator 0-RT1. RT merupakan singkatan dari rumah tangga. Transformator ini masuk ke golongan transformator rumah tangga yang berarti menyuplai beban rumah tangga. Gelombang arus tersebut memiliki nilai maksimum arus sebesar 49.70 A sedangkan nilai minimum arus ialah sebesar -47.3 A. Dari hasil pengukuran terlihat nilai nominal arus transformator tersebut ialah 22.64 A.



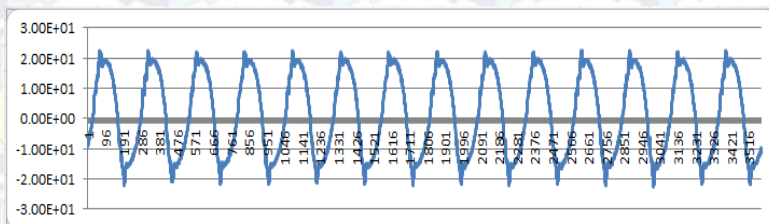
Gambar 4.2 Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa S

Gambar 4.2 ialah bentuk gelombang transformator 0-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 65.90 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -63.30 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 37.11 A



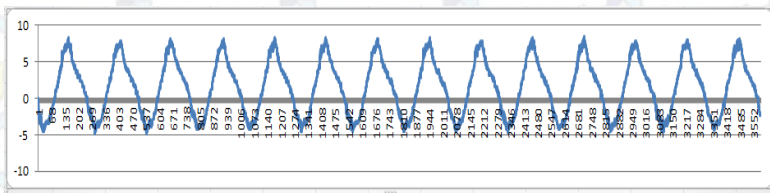
Gambar 4.3 Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa T

Gambar 4.3 ialah bentuk gelombang transformator 0-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 84.20 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -80.50. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 41.46 A. Jika dirata-ratakan, nilai rata-rata arus dari transformator ini ialah 33.80 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 0-100A. Terdapat 5 transformator berumur 0 tahun pada penelitian ini. Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.



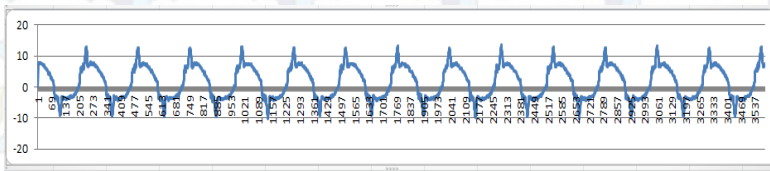
Gambar 4.4 Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 fasa R

Gambar 4.4 ialah gambar gelombang arus transformator bernama 1-RT1. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh transformator berumur 1 tahun. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 22.6 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -22.6 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 13.98 A



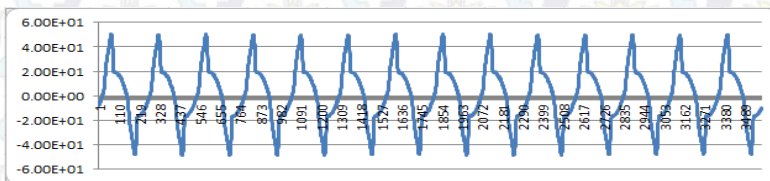
Gambar 4.5 Bentuk Gelombang arus transformator 1-RT1 fasa S

Gambar 4.5 ialah bentuk gelombang transformator 1-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 8.4 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah - 4.80 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 4.02 A

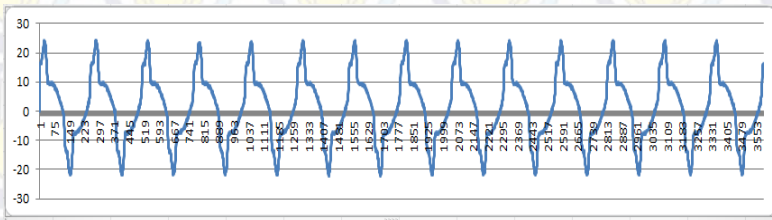


Gambar 4.6 Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 fasa T

Gambar 4.6 ialah bentuk gelombang transformator 1-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 13.70 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah - 10.20. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 5.51 A. Nilai rata – rata arus dari transformator ini ialah 7.84 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 0-100 A. Terdapat 6 transformator berumur 1 tahun pada penelitian ini. Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.

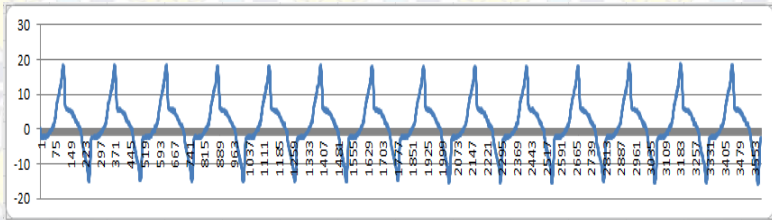


Gambar 4.7 ialah gambar gelombang arus transformator bernama 2-RT1 fasa R. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh transformator berumur 2 tahun. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 50.70 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -48.80. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 24.3 A



Gambar 4.8 Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa S

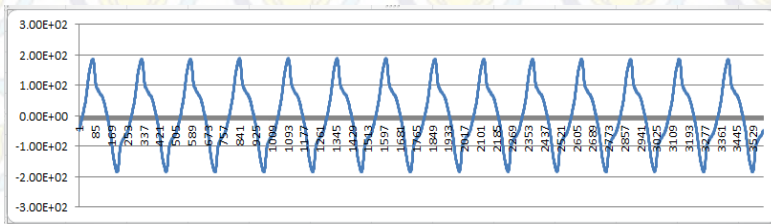
Gambar 4.8 ialah bentuk gelombang transformator 2-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 24.30 sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -22.30. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 11.59 A



Gambar 4.9 Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa T

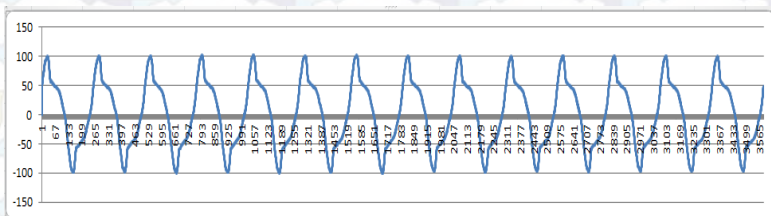
Gambar 4.9 ialah bentuk gelombang transformator 2-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 18.70 sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -15.90. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 7.2 A. Nilai rata – rata arus dari transformator ini ialah 14.36 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 0-100A. Terdapat 5 transformator berumur 2 tahun pada penelitian ini.

Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.



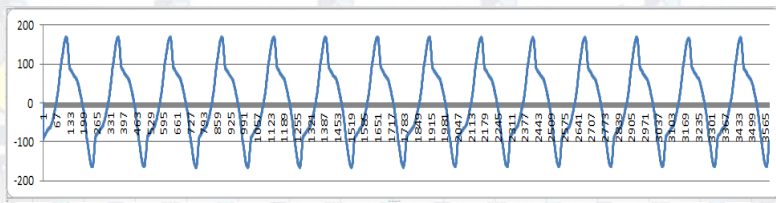
Gambar 4.10 Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa R

Gambar 4.10 ialah gambar gelombang arus transformator bernama 3-RT1. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh transformator berumur 3 tahun. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 188.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -186.00. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 103.27 A



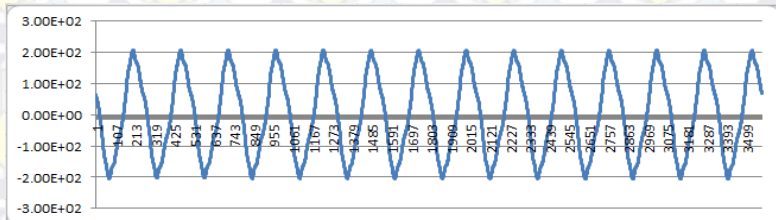
Gambar 4.11 Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa S

Gambar 4.11 ialah bentuk gelombang transformator 3-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 103.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -101.00. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 57.14 A



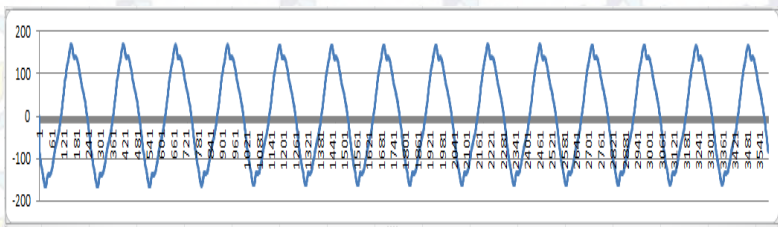
Gambar 4.12 Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa T

Gambar 4.13 ialah bentuk gelombang transformator 3-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 170.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah 165.00 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 93.51 A. Nilai rata – rata arus dari transformator ini ialah 84.64 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 0-100A. Terdapat 2 transformator berumur 3 tahun pada penelitian ini. Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.



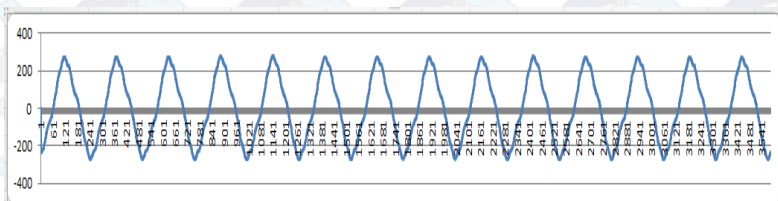
Gambar 4.13 Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa R

Gambar 4.13 ialah gambar gelombang arus transformator bernama 5-RT1 fasa R. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh transformator berumur 5 tahun. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 208.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -205.00 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 131.21 A.



Gambar 4.14 Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa S

Gambar 4.14 ialah bentuk gelombang transformator 5-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 169 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -166 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 106.58 A



Gambar 4. 15 Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa T

Gambar 4.15 ialah bentuk gelombang transformator 5-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 277.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -273.00 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 174.67 A. Nilai rata – rata arus dari transformator ini ialah 137.49 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 101-200A. Terdapat 7 transformator berumur 5 tahun pada penelitian ini. Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.

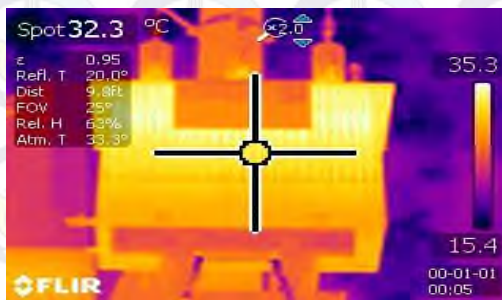
4.2. Data Temperatur Transformator Daya

Pada subbab ini akan ditampilkan data temperatur dari setiap transformator. Data temperatur transformator diambil menggunakan kamera thermal. Terdapat 2 kamera thermal yang digunakan dalam

penelitian ini, yakni Thermal Imaging Flir T250 dan Fluke Thermal Imagers Ti125.

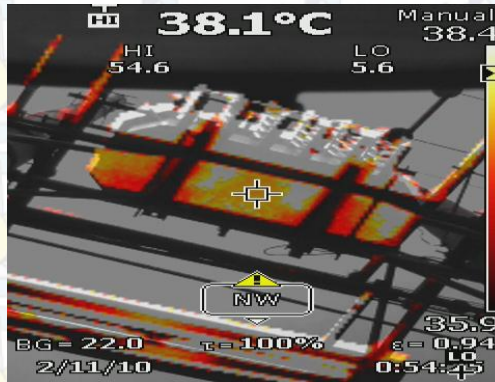
Gambar 4.16 merupakan gambar hasil kamera *thermal imaging* FLIR T250. Gambar tersebut merupakan gambar transformator 0-II. Temperatur spot pada gambar tersebut ialah 32.3 °C. Temperatur spot pada gambar tersebut ialah temperatur permukaan yang ditunjuk oleh pointer. Pada bagian kanan gambar terdapat range temperatur. Dari range temperatur tersebut didapatkan nilai maksimal sebesar 35.3 °C sedangkan nilai minimal temperatur 15.4°C. Range temperatur ini berubah-ubah sesuai dari temperatur objek yang diambil. Dikarenakan nilai maksimal range temperatur tersebut terletak pada transformator tersebut, maka disimpulkan nilai temperatur transformator hasil dari kamera ini ialah 35.3°C.

Gambar 4.17 merupakan gambar hasil kamera thermal imagers fluke Ti125. Gambar tersebut merupakan gambar thermal transformator 5-RT3. Dari gambar tersebut dapat dilihat nilai temperatur 38.1°C. Nilai temperatur ini ialah nilai temperatur yang ditunjukkan pointer pada gambar tersebut. Pointer tersebut mengarah ke bagian bawah transformator. Pada transformator tersebut terdapat nilai hi dan lo. Nilai hi adalah nilai temperatur tertinggi dari gambar tersebut sedangkan nilai



Gambar 4.16 Gambar hasil kamera *thermal imaging* FLIR T250 pada transformator 0-II

lo ialah nilai temperatur terendah yang ada pada gambar tersebut. Dari gambar tersebut, kita dapat mengetahui temperatur transformator ialah sebesar 54.6°C sekaligus menjadi nilai temperatur tertinggi pada gambar tersebut.



Gambar 4.17 Gambar hasil kamera thermal imagers Fluke Ti125 pada transformator 5-RT3

Tabel 4.3 ialah tabel yang menunjukkan temperatur dari setiap transformator. Temperatur transformator ialah nilai temperatur tertinggi pada masing-masing transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai temperatur tertinggi ialah nilai temperatur transformator 3-RT1 sebesar 65.6°C. Nilai temperatur terendah ialah nilai temperatur transformator 1-RT4 sebesar 30.9. Nilai temperatur dari masing-masing transformator belum memiliki pola sehingga belum bisa digunakan untuk menentukan kondisi sebuah transformator.

Tabel 4.3 Data temperatur transformator

No	Transformator	Arus nominal	Temperatur
1	0-RT1	33.80	33.8
2	0-RT2	73.65	41.9
3	0-RT3	93.66	45.3
4	0-I1	3.38	35.3
5	0-S1	7.83	36.2
6	1-RT1	7.84	67.9
7	1-RT2	35.74	33.1
8	1-RT3	17.40	31.9
9	1-RT4	56.41	30.9
10	1-B1	50.95	33.5
11	1-I1	32.12	32.9

No	Transformator	Arus nominal	Temperatur
12	2-RT1	14.36	44.4
13	2-RT2	14.90	32.3
14	2-I1	3.53	49
15	2-I2	2.39	47.8
16	3-RT1	84.64	65.6
17	2-RT3	138.40	57.5
18	3-RT2	161.46	69.5
19	5-RT1	137.49	43.9
20	5-RT2	114.75	43.6
21	5-RT3	158.22	54.6
22	5-RT4	190.73	40.9
23	5-RT5	144.29	32.3
24	5-RT6	132.32	47
25	5-RT7	130.75	43.3

4.3 Pengolahan Data Arus Menggunakan Wavelet

Pada subbab ini akan dibahas mengenai pengolahan data arus menggunakan wavelet meyer dengan menggunakan software MATLAB. Setiap sampel arus yang telah ditampilkan pada subbab 4.1 akan dipecah menjadi beberapa *range* frekuensi menggunakan wavelet.

Sampel arus yang telah *disampling* dipecah menjadi 9 dekomposisi sinyal. Setiap dekomposisi memiliki dua bagian, yakni *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. *Approximation coefficient* ialah sinyal berfrekuensi rendah jika dibandingkan dengan *detail coefficient* pada level dekomposisi yang sama.

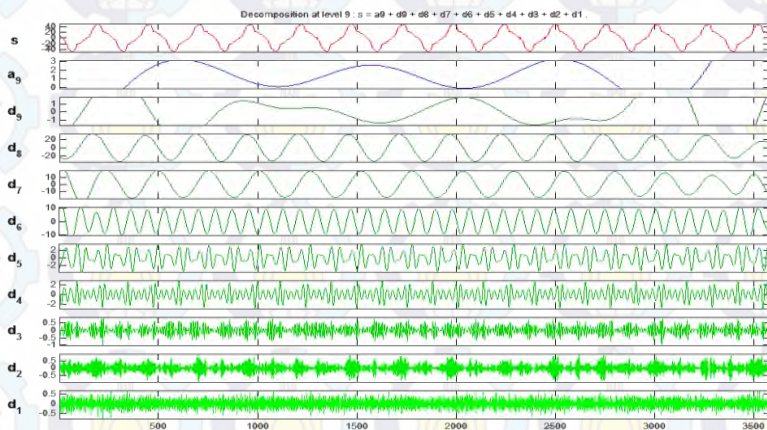
Pada dekomposisi pertama sinyal dibagi menjadi 2, yakni *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. Pada level dekomposisi kedua, *approximation coefficient* pada level pertama dipakai untuk menghasilkan *approximation coefficient* dan *detail coefficient* pada level kedua. Begitu seterusnya hingga mencapai dekomposisi kesembilan dengan range frekuensi yang lebih kecil dan rendah.

Dari gambar dibawah ini dapat dilihat gambar hasil dekomposisi menggunakan wavelet dengan software MATLAB. Sampel arus yang diolah ialah sampel arus dari beberapa transformator berumur 0,1,2,3 dan 5 tahun. Dari gambar tersebut terlihat 10 gambar sinyal. Sinyal berlabel s ialah sinyal awal yang akan diolah. Sinyal berlabel ng

$d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9$ ialah *detail coefficient* atau sinyal hasil dekomposisi pada masing-masing level dekomposisi. Sedangkan sinyal a_9 ialah *approximation coefficient* pada level kesembilan sekaligus menjadi sinyal sisa dari beberapa dekomposisi yang telah dilakukan pada sampel arus.

Gambar 4.18 ialah hasil dekomposisi wavelet pada transformator berumur 0 tahun dengan nama transformator 0-RT1. Terdapat 10 gambar sinyal pada gambar tersebut. Sinyal s ialah gelombang sinyal asli hasil *sampling* arus. Gambar d_1 - d_9 merupakan nilai *detail coefficient* dari setiap level dekomposisi. Nilai a_9 merupakan *approximation coefficient* pada level dekomposisi kesembilan dari sinyal yang diolah.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin rendah dekomposisi semakin rapat sinyal tersebut. Pada gambar tersebut, gambar sinyal d_1 merupakan sinyal yang paling rapat dengan nilai amplitude relatif paling kecil. Dari gambar tersebut dapat dilihat amplitude sinyal d_1 ialah sekitar 0.5. Sedangkan sinyal yang memiliki amplitude yang paling besar ialah sinyal yang berada pada dekomposisi kedelapan. Hal ini dikarenakan sinyal fundamental berada pada level dekomposisi ini. Gambar 4.18 juga merepresentasikan gambar untuk dekomposisi wavelet pada transformator lain karena bentuk sinyal yang hampir sama dengan nilai amplitude yang berbeda Nilai amplitude tersebut diolah menjadi nilai *PSD* yang dapat dilihat pada subbab 4.4.



Gambar 4.18 Hasil dekomposisi wavelet pada transformator 0-RT1

Pada penelitian ini, nilai $d1$ merupakan nilai dekomposisi yang akan menjadi acuan penelitian dikarenakan nilai $d1$ merupakan nilai dekomposisi yang tidak merepresentasikan fungsi arus dimana kenaikan arus tidak berbanding lurus dengan kenaikan PSD . Dekomposisi ini juga dapat digunakan untuk mempolakan umur minyak transformator dibandingkan dengan dekomposisi yang lain. Pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan dekomposisinya dapat dilihat subbab 4.4

4.4 Analisa Power Spectral Density

Power Spectral Density ialah kerapatan energi pada suatu range tertentu. Pada penelitian ini, *power spectral density* digunakan untuk menganalisis kualitas umur minyak transformator. Nilai ini didapat dari hasil pengolahan nilai gelombang arus menggunakan wavelet. Wavelet digunakan untuk memecah sinyal menjadi beberapa range frekuensi. Dari hasil pemecahan sinyal tersebut didapatkan nilai energi. Nilai energi dibagi dengan nilai range frekuensi tertinggi menghasilkan nilai *power spectral density (PSD)*.

Pada penelitian ini, terdapat 9 level dekomposisi. Setiap nilai detail coefficient pada setiap level dekomposisi menghasilkan nilai PSD . Nilai PSD tersebut mewakili nilai PSD pada setiap range frekuensi. Nilai PSD pada detail1 ($d1$) mewakili range frekuensi 3200-6400 Hz, nilai PSD pada detail2 ($d2$) mewakili range frekuensi 1600-3200 Hz, nilai PSD pada detail3 ($d3$) mewakili range frekuensi 800-1600 Hz, nilai PSD pada detail4 ($d4$) mewakili range frekuensi 400-800 Hz, nilai PSD pada detail5 ($d5$) mewakili range frekuensi 200-400 Hz, nilai PSD detail6 ($d6$) mewakili range frekuensi 100-200, nilai PSD detail7 ($d7$) mewakili range frekuensi 50-100, nilai PSD detail8 ($d8$) mewakili range frekuensi 25-50 Hz, serta yang terakhir ialah nilai PSD detail9 ($d9$) mewakili range frekuensi 12.5-25 Hz. Berikut ini ialah tabel 4.4 yang menunjukkan range frekuensi tiap dekomposisi.

Tabel 4.4 Range frekuensi tiap dekomposisi

Dekomposisi	Range Frekuensi
Dekomposisi 1	3200-6400
Dekomposisi 2	1600-3200
Dekomposisi 3	800-1600
Dekomposisi 4	400-800
Dekomposisi 5	200-400

Dekomposisi	Range Frekuensi
Dekomposisi 6	100-200
Dekomposisi 7	50-100
Dekomposisi 8	25-50
Dekomposisi 9	12.5-25

4.4.1 Data Energi dan *Power Spectral Density*

Pada penelitian ini, pengambilan *sampling* arus transformator dilakukan terhadap 3 fasa. Oleh karena itu, dari sebuah transformator didapat 3 gelombang arus hasil *sampling*. Gelombang arus hasil *sampling* ini kemudian diolah menggunakan wavelet meyer. Dari pengolahan ini dihasilkan nilai energi. Nilai energi dibagi dengan range nilai tertinggi dari range frekuensi tersebut menghasilkan nilai *PSD*. Dari setiap transformator menghasilkan 3 nilai *PSD*. Nilai *PSD* tersebut dirata-rata sehingga didapat nilai *PSD* dari setiap transformator.

Tabel 4.5 dan 4.6 ialah tabel yang menunjukkan nilai energi dan *power spectral density* pada transformator berumur 0 tahun. Pada penelitian ini terdapat 4 transformator berumur 0 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 0 tahun. Dari nilai *power spectral density* tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0151, 0.0221, 0.0226, 0.0135 dan 0.0196 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 0 tahun. Nilai *PSD* tersebut adalah nilai yang digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator

Tabel 4.7 dan tabel 4.8 ialah tabel yang menunjukkan nilai *power spectral density* pada transformator berumur 1 tahun. Pada penelitian ini terdapat 6 transformator berumur 1 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 1 tahun. Dari nilai *power spectral density* tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0169, 0.0188, 0.0185, 0.0171, 0.0239 dan 0.0203 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 1 tahun. Nilai *PSD* tersebut adalah nilai yang digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator.

Tabel 4.9 dan tabel 4.10 ialah tabel yang menunjukkan nilai energi dan *power spectral density* pada transformator berumur 2 tahun. Pada penelitian ini terdapat 5 transformator berumur 2 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 2 tahun. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0160, 0.0159, 0.0133, 0.0209 dan 0.0293 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 2 tahun.

Tabel 4.11 dan tabel 4.12 ialah tabel yang menunjukkan nilai energi dan *power spectral density* pada transformator berumur 3 tahun. Pada penelitian ini terdapat 2 transformator berumur 3 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 3 tahun. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0242 dan 0.0307 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 3 tahun.

Tabel 4.13 dan tabel 4.14 ialah tabel yang menunjukkan nilai *power spectral density* pada transformator berumur 5 tahun. Pada penelitian ini terdapat 7 transformator berumur 5 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 5 tahun. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0410, 0.0357, 0.0333, 0.0353, 0.0303, 0.0344 dan 0.0614 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 5 tahun.

Tabel 4.5 Nilai energi transformator 0 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	0-RT1	96.46262	433.5481	700.4455	12885.5	125163.5	1148231	3112827	2134122	253676.7
2	0-RT2	141.3465	522.6686	3240.81	98141.67	623407.8	4701349	10077599	8731643	910067.9
3	0-RT3	144.5224	440.1838	4773.802	106430.2	934672.2	5992243	19816996	12794178	1589598
4	0-II	86.43597	53.76894	27.4399	48.7474	267.7538	11048.95	13405.76	23706.15	1649.69
5	0-S1	125.4057	226.5229	1516.03	1272.874	6672.486	63140.4	125525.9	114178.3	10462.57

Tabel 4.6 Nilai PSD transformator 0 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	0-RT1	0.0151	0.135	0.438	16.107	312.909	5741.154	31128.271	42682.436	10147.070
2	0-RT2	0.0221	0.163	2.026	122.677	1558.519	23506.745	100775.989	174632.861	36402.715
3	0-RT3	0.0226	0.138	2.984	133.038	2336.680	29961.216	198169.961	255883.551	63583.905
4	0-II	0.0135	0.017	0.017	0.061	0.669	55.245	134.058	474.123	65.988
5	0-S1	0.0196	0.071	0.948	1.591	16.681	315.702	1255.259	2283.566	418.503

Tabel 4.7 Nilai energi transformator 1 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	1-RT1	108.0634	246.1903	406.1546	1818.465	3486.43	61331.7	181916.3	101002.6	10978.25
2	1-RT2	120.429	165.2996	1884.047	69501.47	202569.8	2099332	2492952	3738798	242122.1
3	1-RT3	118.0998	95.14479	745.9068	14645.2	50022.65	265430.7	623249.8	482242.7	47532.1
4	1-RT4	109.4488	370.5928	5480.776	87360.97	441814.7	6322628	5980964	10264152	634928.5
5	1-B1	152.74	238.6332	3202.52	60977.09	227743.1	2119073	4788543	4602298	413860.4
6	1-II	129.8477	65.47606	198.0274	1400.891	20235.29	739041.2	1841842	2056424	165818.7

Tabel 4.8 Nilai PSD transformator 1 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	1-RT1	0.0169	0.077	0.254	2.273	8.716	306.659	1819.163	2020.051	439.130
2	1-RT2	0.0188	0.052	1.178	86.877	506.425	10496.658	24929.517	74775.966	9684.883
3	1-RT3	0.0185	0.030	0.466	18.307	125.057	1327.154	6232.498	9644.854	1901.284
4	1-RT4	0.0171	0.116	3.425	109.201	1104.537	31613.139	59809.635	205283.039	25397.140
5	1-B1	0.0239	0.075	2.002	76.221	569.358	10595.364	47885.428	92045.964	16554.417
6	1-II	0.0203	0.020	0.124	1.751	50.588	3695.206	18418.421	41128.474	6632.750

Tabel 4.9 Nilai energi transformator 2 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	2-RT1	102.0933	97.1152	762.9356	11565.95	46113	318468.4	294066	535042.6	33559.8
2	2-RT2	101.7204	127.0461	1070.497	6281.542	25065.61	173809.6	245469.4	718158.6	38406.05
3	2-I1	85.06345	61.05323	90.70186	109.6277	402.8392	6318.853	20689.31	28278.61	2371.982
4	2-I2	133.7366	66.95806	55.56489	211.4781	338.7856	4488.312	4560.769	9748.615	645.6516
5	2-RT3	187.50065	1057.191	6274.434	149721.7	1620594	17862162	43345816.27	27143433	3288592

Tabel 4.10 Nilai PSD transformator 2 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	2-RT1	0.0160	0.0303	0.4768	14.4574	115.2825	1592.3419	2940.6601	10700.8519	1342.3921
2	2-RT2	0.0159	0.0397	0.6691	7.8519	62.6640	869.0478	2454.6937	14363.1729	1536.2419
3	2-I1	0.0133	0.0191	0.0567	0.1370	1.0071	31.5943	206.8931	565.5722	94.8793
4	2-I2	0.0209	0.0209	0.0347	0.2643	0.8470	22.4416	45.6077	194.9723	25.8261
5	2-RT3	0.0293	0.3304	3.9215	187.1521	4051.4851	89310.8091	433458.1627	542868.6621	131543.6750

Tabel 4.11 Nilai energi transformator 3 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	3-RT1	154.7672	193.6706	4318.684	83414.63	706871.8	6238158	14182957	12276501	1170091
2	3-RT2	196.5505	266.5924	5177.963	119324.9	1724107	23258455	50403505	54223588	4678880

Tabel 4.12 Nilai PSD transformator 3 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	3-RT1	0.0242	0.0605	2.6992	104.2683	1767.1794	31190.7897	141829.5708	245530.0257	46803.6370
2	3-RT2	0.0307	0.0833	3.2362	149.1561	4310.2670	116292.2743	504035.0534	1084471.7502	187155.2030

Tabel 4.13 Nilai energi transformator berumur 5 tahun

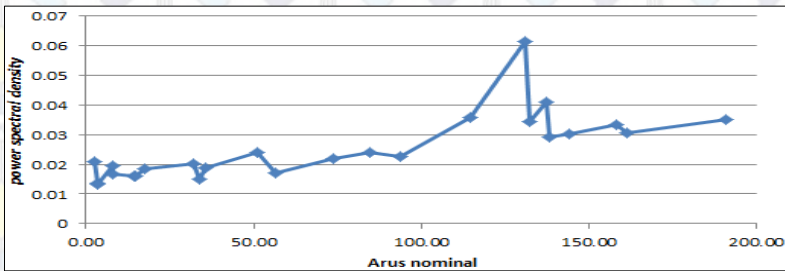
No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	5-RT1	262.0924	274.9631	2329.321	75981.58	436546	14872161	44687164	28506706	3203906
2	5-RT2	228.7921	195.2673	4340.304	90470.01	539784.2	10361940	24579504	23978181	2101420
3	5-RT3	213.4016	257.6041	2224.675	40139.63	618551	19441751	48399584	44396618	3962053
4	5-RT4	225.6237	377.9078	7675.277	244202.3	1723919	28766109	57764601	75069248	5787644
5	5-RT5	194.0928	210.2675	2240.844	38696.6	489416.7	15942855	38314566	39552065	3315990
6	5-RT6	220.1137	411.8809	1980.457	32951.81	444398.3	16368346	29117146	39133452	2824762
7	5-RT7	393.0379	224.6225	4361.128	57642.41	506575.1	11436789	33902049	30384670	2868006

Tabel 4.14 Nilai PSD transformator berumur 5 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	5-RT1	0.0410	0.0859	1.4558	94.9770	1091.3650	74360.8034	446871.6414	570134.1135	128156.2539
2	5-RT2	0.0357	0.0610	2.7127	113.0875	1349.4606	51809.6992	245795.0412	479563.6275	84056.7828
3	5-RT3	0.0333	0.0805	1.3904	50.1745	1546.3775	97208.7551	483995.8373	887932.3549	158482.1368
4	5-RT4	0.0353	0.1181	4.7970	305.2529	4309.7986	143830.5446	577646.0148	1501384.9603	231505.7598
5	5-RT5	0.0303	0.0657	1.4005	48.3707	1223.5418	79714.2748	383145.6591	791041.3098	132639.6026
6	5-RT6	0.0344	0.1287	1.2378	41.1898	1110.9958	81841.7302	291171.4582	782669.0455	112990.4627
7	5-RT7	0.0614	0.0702	2.7257	72.0530	1266.4379	57183.9451	339020.4878	607693.4028	114720.2260

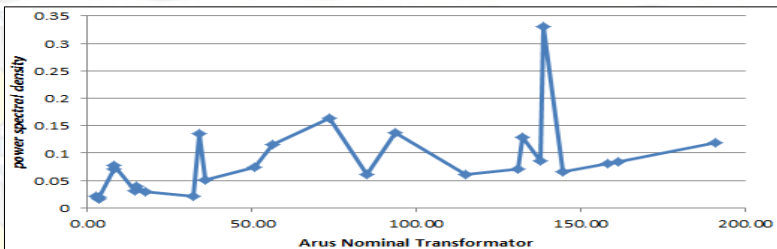
4.4.2 Penentuan Pola Power Spectral Denstiy

Setelah didapatkan nilai *PSD* dari setiap transformator disetiap level dekomposisi, selanjutnya dilakukan pengurutan transformator berdasarkan nilai arus nominal dari setiap level dekomposisi. Pengurutan tersebut membentuk pola hubungan antara arus transformator dengan nilai *PSD* dari transformator tersebut. Hasil terbaik yang akan dipilih ialah grafik yang tidak menunjukkan adanya fungsi arus. Fungsi arus yang dimaksud ialah nilai berbanding lurus antara arus dan *PSD*. Fungsi arus dihindari agar nilai *PSD* yang didapat bukan berasal dari nilai arus nominal dari sebuah transformator.



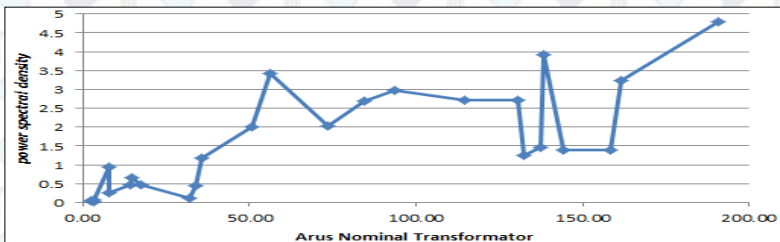
Gambar 4.19 Hubungan arus dan *PSD* d1

Gambar 4.19 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d1. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.0132 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 0.0614. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi pertama ini memiliki nilai yang tidak berbanding lurus sehingga baik digunakan untuk membuat pola pengelompokan umur transformator



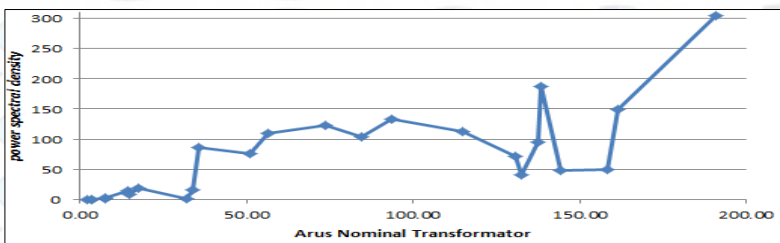
Gambar 4.20 Hubungan arus dan *PSD* d2

Gambar 4.20 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d2. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.0168 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 0.3303. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki nilai yang tidak berbanding lurus. Kekurangan dari hasil d2 ini ialah nilai *PSD* range arus 101-200 hampir sama dengan nilai *PSD* range arus 0-100A sehingga tidak baik digunakan sebagai acuan untuk membuat pengelompokan nilai *PSD*.



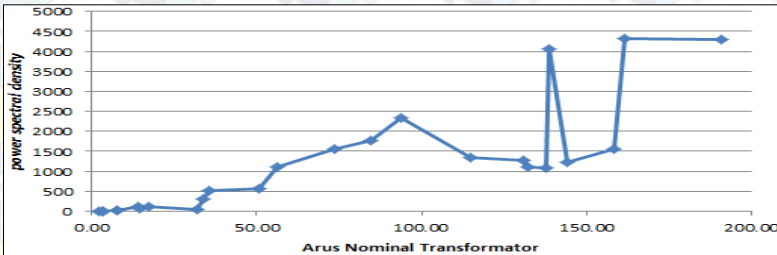
Gambar 4.21 Hubungan arus dan *PSD* d3

Gambar 4.21 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d3. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.0172 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 4.7974. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi ketiga ini memiliki kekurangan untuk dijadikan pola penentuan umur minyak transformator. Pola yang dimaksud ialah grafik ini memiliki trend naik seiring dengan kenaikan nilai arus sehingga tidak baik digunakan sebagai pola pengelompokan umur minyak transformator.



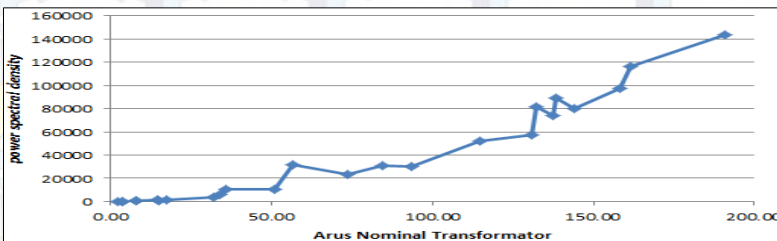
Gambar 4.22 Hubungan arus dan *PSD* d4

Gambar 4.22 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d4. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.0609 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 304.25. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki nilai yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator.



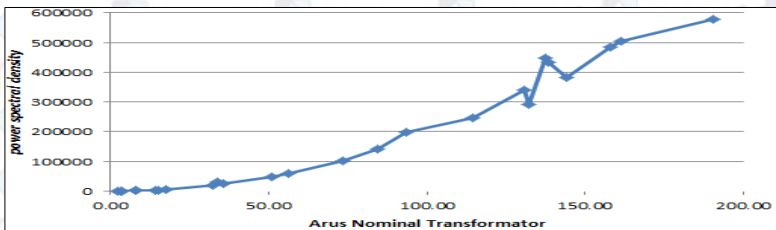
Gambar 4.23 Hubungan arus dan *PSD* d5

Gambar 4.23 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d5. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.6693 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 4310.267. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki trend yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator. Selain itu juga terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai terkecil dan terbesar *PSD* pada dekomposisi ini.



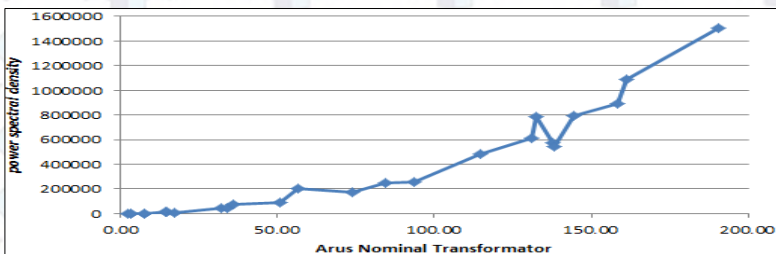
Gambar 4.24 Hubungan arus dan *PSD* d6

Gambar 4.24 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d6. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 22.4416 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 143830.5 Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki trend yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator. Selain itu juga terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai terkecil dan terbesar *PSD* pada dekomposisi ini.



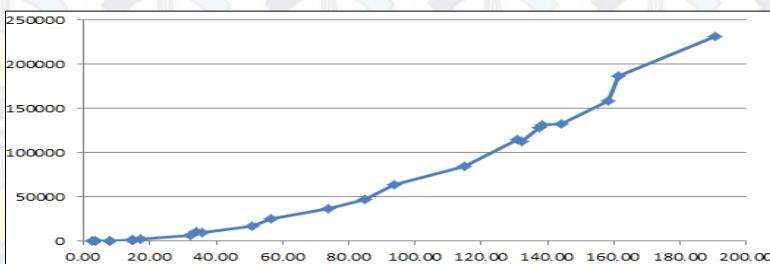
Gambar 4.25 Hubungan arus dan *PSD* d7

Gambar 4.25 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d7. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 45.6077 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 577646 Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki trend yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator. Selain itu juga terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai terkecil dan terbesar *PSD* pada dekomposisi ini.



Gambar 4.26 Hubungan arus dan *PSD* d8

Gambar 4.26 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d8. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 194.9723 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 1501385. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki trend yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator. Pada level dekomposisi ini juga terdapat frekuensi fundamental sehingga menjadi dekomposisi yang paling dihindari untuk dijadikan pola umur minyak transformator



Gambar 4.27 Hubungan arus dan *PSD* d9

Gambar 4.26 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d9. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 25.8260 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 231505. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kesembilan memiliki hubungan yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator.

Dari kesembilan grafik hubungan antara arus dan *PSD*, hasil terbaik yang dipilih ialah hasil dekomposisi pertama pada gambar 4.19. Grafik tersebut tidak menunjukkan adanya fungsi arus sehingga dapat dijadikan acuan untuk pengelompokan umur transformator berdasarkan nilai *PSD*. Selain itu, hasil dekomposisi pertama juga tidak memiliki perbedaan yang sangat jauh antara nilai terkecil dan terbesar sehingga cukup baik untuk dijadikan acuan.

4.4.2.1 Pengelompokan menggunakan 6 kelas umur

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.15 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator menggunakan 6 kelas umur, yakni umur 0 tahun, 1 tahun, 2 tahun, 3 tahun, 4 tahun dan 5 tahun.

Tabel 4.15 Nilai *PSD* transformator range arus 0-100A berdasarkan pengurutan nilai d1

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	2-I1	3.53	0.0133
2	0-II	3.38	0.0135
3	0-RT1	33.80	0.0151
4	2-RT2	14.90	0.0159
5	2-RT1	14.36	0.0160
6	1-RT1	7.84	0.0169
7	1-RT4	56.41	0.0171
8	1-RT3	17.40	0.0185
9	1-RT2	35.74	0.0188
10	0-S1	7.83	0.0196
11	1-I1	32.12	0.0203
12	2-I2	2.39	0.0209
13	0-RT2	73.65	0.0221
14	0-RT3	93.66	0.0226
15	1-B1	50.95	0.0239
16	3-RT1	84.64	0.0242

Tabel 4.15 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan , nama transformator, Inom, Energi d1 dan d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 16 transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-I1 dengan nilai *PSD* sebesar 0.0133. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0242 yang dimiliki oleh transformator berumur 3 tahun. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator. Namun, dalam pengurutan nilai *PSD* tersebut, ternyata masih ada transformator berumur rendah yang memiliki nilai *PSD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan transformator yang memiliki umur lebih tinggi. Sebagai contoh transformator 2-RT2 urutan keempat dengan nilai *PSD* 0.0159 memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan transformator 0-RT2 pada urutan 13 dengan nilai

PSD 0.0221. Hal ini disebabkan karena nilai *PSD* transformator yang dikelompokkan per tahun masih memiliki nilai yang sangat dekat dan belum dapat dikelompokkan sepenuhnya. Oleh karena itu, hal yang akan dilakukan ialah membuat pengelompokan baru, yakni dengan menggunakan pengelompokan per dua tahun. 0 dan 1 tahun digabung menjadi kelas X, 2 dan 3 tahun digabung menjadi kelas Y, 4 dan 5 tahun digabung menjadi kelas Z. Pengelompokan ini disebut dengan pengelompokan 3 kelas umur.

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.16 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator.

Tabel 4.16 Nilai *PSD* transformator range arus 101-200 A berdasarkan pengurutan nilai d1

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	2-RT3	138.40	0.0293
2	5-RT5	144.29	0.0303
3	3-RT2	161.46	0.0307
4	5-RT3	158.22	0.0333
5	5-RT6	132.32	0.0344
6	5-RT4	190.73	0.0353
7	5-RT2	114.75	0.0357
8	5-RT1	137.49	0.0410
9	5-RT7	130.75	0.0614

Tabel 4.16 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan , nama transformator, Inom, Energi d1 dan d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 9 transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-RT3 dengan nilai *PSD* sebesar 0.0293. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0614 yang dimiliki oleh transformator bernama 5-RT7. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator. Namun, dalam pengurutan nilai *PSD* tersebut, ternyata masih ada transformator berumur rendah yang memiliki nilai *PSD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan transformator yang memiliki umur lebih tinggi. Sebagai contoh transformator 5-RT5 urutan kedua dengan nilai *PSD* 0.0303 memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan transformator 3-RT2 pada urutan ketiga dengan nilai *PSD*

0.0307. Hal ini disebabkan karena nilai *PSD* transformator yang dikelompokkan per tahun masih memiliki nilai yang sangat dekat dan belum dapat dikelompokkan sepenuhnya. Oleh karena itu, hal yang akan dilakukan ialah membuat pengelompokan baru, yakni dengan menggunakan pengelompokan per dua tahun. 0 dan 1 tahun digabung menjadi kelas X, 2 dan 3 tahun digabung menjadi kelas Y, 4 dan lebih dari 5 tahun digabung menjadi kelas Z.

4.4.2.2 Pengelompokan Menggunakan 3 Kelas Umur

Dikarenakan penggunaan 6 kelas umur belum mendapatkan hasil yang benar, pengelompokan menggunakan 3 kelas umur. Terdapat 3 kelas umur baru yang dibuat pada pengelompokan ini. Pengelompokan ini membagi 6 umur transformator menjadi 3 kelas. Kelas umur pertama ialah kelas umur X dengan umur transformator 0 dan 1 tahun. Kelas umur transformator yang kedua ialah kelas umur Y dengan umur minyak transformator 2 dan 3 tahun. Kelas umur yang terakhir ialah kelas umur Z yang mencakup minyak transformator berumur 4 dan lebih dari 5 tahun. Pengelompokan ini dapat dilihat pada tabel 4.17

Tabel 4.17 Pengelompokan umur transformator

No	Kelompok Umur	Nama kelas
1	3 kelas umur	Kelas Umur X (0 tahun dan 1 tahun)
		Kelas umur Y (2 tahun dan 3 tahun)
		Kelas umur Z (lebih dari 5 tahun)

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.18 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator menggunakan 3 kelas umur, yakni kelas umur X, kelas umur Y dan kelas umur Z

Tabel 4.18 Nilai *PSD* transformator range arus 0-100A berdasarkan pengurutan nilai d1 menggunakan 3 kelas umur

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	(Y) 2-II	3.53	0.0133
2	(X) 0-II	3.38	0.0135
3	(X) 0-RT1	33.80	0.0151
4	(Y) 2-RT2	14.90	0.0159
5	(Y) 2-RT1	14.36	0.0160

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
6	(X) 1-RT1	7.84	0.0169
7	(X) 1-RT4	56.41	0.0171
8	(X) 1-RT3	17.40	0.0185
9	(X) 1-RT2	35.74	0.0188
10	(X) 0-S1	7.83	0.0196
11	(X) 1-I1	32.12	0.0203
12	(Y) 2-I2	2.39	0.0209
13	(X) 0-RT2	73.65	0.0221
14	(X) 0-RT3	93.66	0.0226
15	(X) 1-B1	50.95	0.0239
16	(Y) 3-RT1	84.64	0.0242

Tabel 4.18 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan, nama transformator, Inom, Energi d1 dan *PSD* d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 16 transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-I1 yang masuk ke kelas umur Y dengan nilai *PSD* sebesar 0.0133. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0242 yang dimiliki oleh transformator bernama transformator 3-RT1 yang masuk ke kelas umur Y. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator.

Namun, dalam pengurutan nilai *PSD* tersebut, ternyata masih ada transformator berkelompok umur rendah yang memiliki nilai *PSD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan transformator yang memiliki kelompok umur lebih tinggi. Sebagai contoh transformator 2-I2 urutan kedua belas yang masuk ke kelas umur Y dengan nilai *PSD* 0.0209 memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan transformator 0-RT2 pada urutan 13 yang masuk ke kelas umur X dengan nilai *PSD* 0.0221. Ternyata, walaupun sudah dikelompokkan menggunakan 3 kelas umur, masih ada nilai-nilai *PSD* transformator yang sangat dekat dan belum dapat dikelompokkan sepenuhnya. Oleh karena itu, hal yang akan dilakukan ialah membuat pengelompokan baru, yakni dengan menggunakan pengelompokan per tiga tahun. 0,1 dan 2 tahun digabung menjadi kelas A sedangkan 3 dan lebih dari 5 tahun digabung menjadi kelas B. Pengelompokan ini disebut dengan pengelompokan 2 kelas umur.

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.19 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range

arus 101-200A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator.

Tabel 4.19 Nilai *PSD* transformator range arus 101-200 A berdasarkan pengurutan nilai d1 menggunakan 3 kelas umur

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	(Y) 2-RT3	138.40	0.0293
2	(Z) 5-RT5	144.29	0.0303
3	(Y) 3-RT2	161.46	0.0307
4	(Z) 5-RT3	158.22	0.0333
5	(Z) 5-RT6	132.32	0.0344
6	(Z) 5-RT4	190.73	0.0353
7	(Z) 5-RT2	114.75	0.0357
8	(Z) 5-RT1	137.49	0.0410
9	(Z) 5-RT7	130.75	0.0614

Tabel 4.19 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan, nama transformator, Inom, Energi d1 dan d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 9 transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-RT3 yang masuk ke kelas umur Y dengan nilai *PSD* sebesar 0.0293. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0614 yang dimiliki oleh transformator bernama 5-RT7 yang masuk ke kelas umur Y. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator. Namun, dalam pengurutan nilai *PSD* tersebut, ternyata masih ada transformator berumur rendah yang memiliki nilai *PSD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan transformator yang memiliki umur lebih tinggi. Sebagai contoh transformator 5-RT5 urutan kedua yang masuk ke kelas umur Z dengan nilai *PSD* 0.0307 memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan transformator 3-RT2 pada urutan ketiga dengan nilai *PSD* 0.0307 yang masuk ke kelas umur Y. Ternyata pengelompokan per dua tahun menggunakan 3 kelas umur belum menemukan hasil yang dapat dijadikan sebagai acuan pengelompokan *PSD* per kelompok umur. Hal ini disebabkan karena nilai *PSD* transformator yang dikelompokkan per dua tahun masih memiliki nilai yang sangat dekat. Oleh karena itu, hal yang akan dilakukan ialah membuat pengelompokan baru, yakni dengan menggunakan

pengelompokan per tiga tahun. 0,1 dan 2 tahun digabung menjadi kelas A sedangkan umur 3 dan lebih dari 5 tahun digabung menjadi kelas B.

4.4.2.3 Pengelompokan Menggunakan 2 Kelas Umur

Dikarenakan penggunaan 6 kelas umur dan 3 kelas umur belum mendapatkan hasil yang dapat digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator berdasarkan nilai *PSD*, dilakukan pengelompokan menggunakan 2 kelas umur. Terdapat 2 kelas umur baru yang dibuat pada pengelompokan ini. Pengelompokan ini membagi 6 umur transformator menjadi 2 kelas. Kelas umur pertama ialah kelas umur A dengan umur transformator 0,1 dan 2 tahun. Kelas umur transformator yang kedua ialah kelas umur B dengan umur minyak transformator 3 dan lebih dari 5 tahun. Pengelompokan ini dapat dilihat pada tabel 4.20

Tabel 4.20 Pengelompokan umur transformator

No	Kelompok Umur	Nama kelas
1	2 kelas umur	Kelas umur A (0, 1 dan 2 tahun)
		Kelas umur B (3 dan lebih dari 5 tahun)

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.21 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator menggunakan 3 kelas umur, yakni kelas umur X, kelas umur Y dan kelas umur Z

Tabel 4.21 Nilai *PSD* transformator range arus 0-100A berdasarkan pengurutan nilai d1 menggunakan 2 kelas umur

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	(A) 2-II	3.53	0.0133
2	(A) 0-II	3.38	0.0135
3	(A) 0-RT1	33.80	0.0151
4	(A) 2-RT2	14.90	0.0159
5	(A) 2-RT1	14.36	0.0160
6	(A) 1-RT1	7.84	0.0169
7	(A) 1-RT4	56.41	0.0171
8	(A) 1-RT3	17.40	0.0185
9	(A) 1-RT2	35.74	0.0188
10	(A) 0-S1	7.83	0.0196
11	(A) 1-II	32.12	0.0203
12	(A) 2-I2	2.39	0.0209
13	(A) 0-RT2	73.65	0.0221

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
14	(A) 0-RT3	93.66	0.0226
15	(A) 1-B1	50.95	0.0239
16	(B) 3-RT1	84.64	0.0242

Tabel 4.21 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan , nama transformator, Inom, Energi d1 dan *PSD* d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 16 transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-I1 yang masuk ke kelas umur A dengan nilai *PSD* sebesar 0.0133. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0242 yang dimiliki oleh transformator bernama transformator 3-RT1 yang masuk ke kelas umur B. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator.

Dibandingkan dengan pengelompokan menggunakan 6 kelas umur dan 3 kelas umur, ternyata pengelompokan menggunakan 2 kelas umur menghasilkan nilai yang terbaik. Pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan nilai *PSD* dapat dilakukan. Kelompok umur A yang mencakup umur 0,1 dan 2 tahun memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok umur B yang mencakup umur 3 dan lebih dari 5 tahun.

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.22 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator.

Tabel 4.22 Nilai *PSD* transformator range umur 101-200 A berdasarkan pengurutan Nilai d1 menggunakan 2 kelas umur

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	(A) 2-RT3	138.40	0.0293
2	(B) 5-RT5	144.29	0.0303
3	(B) 3-RT2	161.46	0.0307
4	(B) 5-RT3	158.22	0.0333
5	(B) 5-RT6	132.32	0.0344
6	(B) 5-RT4	190.73	0.0353
7	(B) 5-RT2	114.75	0.0357
8	(B) 5-RT1	137.49	0.0410
9	(B) 5-RT7	130.75	0.0614

Tabel 4.22 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan, nama transformator, Inom, Energi d1 dan *PSD* d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 9 transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-RT3 yang masuk ke kelas umur A dengan nilai *PSD* sebesar 0.0293. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0614 yang dimiliki oleh transformator bernama transformator 5-RT7 yang masuk ke kelas umur B. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator.

Dibandingkan dengan pengelompokan menggunakan 6 kelas umur dan 3 kelas umur, ternyata pengelompokan menggunakan 2 kelas umur menghasilkan nilai yang terbaik. Pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan nilai *PSD* dapat dilakukan. Kelompok umur A yang mencakup umur 0,1 dan 2 tahun memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok umur B yang mencakup umur 3 dan lebih dari 5 tahun.

Dari hasil pengelompokan menggunakan 2 kelas umur seperti yang ditampilkan pada tabel 4.21 dan 4.22. Pengelompokan umur transformator berdasarkan nilai *PSD* dapat dilakukan. Hasil tersebut tidak menunjukkan adanya kelas umur yang tinggi mendahului kelas umur yang rendah. Kelas umur yang rendah memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan kelas umur yang tinggi.

Dari tabel 4.21 dapat dilihat 2 kelas umur yang berbeda, yakni kelas umur A dan kelas B. Kelas umur A berada pada urutan 1 sampai 15. Kelas umur B berada pada urutan ke 16 dengan nilai *PSD* paling tinggi pada range arus 0-100A

Hampir sama dengan tabel 4.21, tabel 4.22 ialah pengelompokan transformator dengan range arus 101-200 A menggunakan 2 kelas umur. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa transformator yang masuk ke kelas umur A mempunyai nilai *PSD* dibawah transformator kelas umur B. Pengelompokan Transformator berdasarkan nilai *PSD* dapat dilihat pada subbab 4.5

4.5 Pengelompokan Umur Transformator Berdasarkan Nilai *PSD*

Dari pengolahan data arus dan temperatur transformator yang diteliti, ternyata yang memenuhi pola untuk dijadikan penarikan kesimpulan mengenai kualitas minyak transformator ialah data arus. Data arus diolah menggunakan wavelet meyer. Pengolahan ini

menghasilkan sinyal arus pada beberapa range frekuensi. Pada penelitian ini terdapat 9 range frekuensi. Setiap range frekuensi dinamakan dekomposisi. Pada setiap dekomposisi terdapat 2 bagian yakni detail dan approximation. Nilai detail coefficient diolah untuk mendapatkan nilai energi. Energi dibagi nilai frekuensi maksimum menghasilkan nilai *Power Spectral Density (PSD)*. Nilai energi dan *PSD* dikelompokkan sehingga menghasilkan pengelompokkan energi dan *PSD* untuk setiap umur transformator. Pengelompokan ini selanjutnya digunakan untuk menentukan kualitas umur minyak transformator yang nilai energi nya dan *PSD* nya sudah diketahui sebelumnya.

Pada penelitian ini, didapatkan pengelompokan energi dan *PSD* pada 2 range arus yang berbeda yakni 0-100 A, 101-200 A. Selain range arus, terdapat 2 pengelompokan umur yakni kelas A (0,1 dan 2 tahun) dan kelas B (3 dan lebih dari 5 tahun). Kedua kategori ini digabungkan sehingga membentuk sebuah pengelompokan untuk menentukan kualitas umur minyak transformator.

Dibawah ini ialah tabel pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan nilai *PSD* menggunakan wavelet meyer yang dilakukan pada penelitian ini. Pada tabel 4.23 dapat dilihat bahwa tabel tersebut menjelaskan hubungan antara range arus, nilai *power spectral density* dan umur transformator. Pada tabel ini terdapat 2 kelompok range arus. Range arus yang dipakai pada penelitian ini ialah 0-100 A dan 101-200A. Dibawah range arus terdapat nilai *power spectral density* yang didapat dari hasil pengolahan menggunakan wavelet meyer. Nilai *PSD* pada kelas umur A dengan range arus 0-100A ialah sebesar 0-0.239 sedangkan Nilai *PSD* pada kelas umur A dengan range arus 101-200 A ialah 0-0.03919. Nilai ini didapatkan agar range *PSD* pada kelas umur A dan B menjadi sama. Nilai yang digunakan dalam perhitungan ini ialah nilai yang diambil dari pengurutan nilai *PSD* pada tabel 4.21 dan 4.22.

Tabel 4.23 Pengelompokan umur transformator berdasarkan range arus dan *power spectral density*

Kelas Umur	0-100 A	101-200 A
A	0-0.02399	0-0.0299
B	≥ 0.02340	≥ 0.0300

Dari kedua tabel diatas, dapat dijadikan acuan untuk mengetahui kualitas minyak dari sebuah transformator daya. Pada penelitian ini, kualitas minyak transformator ditentukan berdasarkan nilai *PSD* dari gelombang arus yang telah diolah sebelumnya. Pembacaan tabel 4.23 ialah diawali dengan mengetahui nilai arus dari sebuah transformator, Setelah nilai range arus transformator diketahui, carilah nilai *PSD* dari gelombang arus yang telah *disampling* sebelumnya. Setelah kedua nilai tersebut didapatkan, maka dapat diketahui kualitas minyak transformator tersebut. Hasil dari pembacaan tabel tersebut ialah pada kolom pertama dari kedua tabel tersebut. Kolom tersebut ialah kualitas transformator berdasarkan umur minyak transformator.

4.5.1 Monitoring Transformator Daya

Untuk menguji hasil dari penelitian ini, akan dilakukan *testing* sekaligus *monitoring* untuk mengetahui kelas umur minyak dari sebuah transformator berdasarkan nilai *PSD* dengan menggunakan parameter spektrum arus. *Testing* dilakukan pada terhadap 9 tranformator daya. Kesembilan transformator tersebut dapat dilihat pada tabel 4.24.

Dari tabel 4.24 dapat dilihat data kesembilan transformator yang akan diuji kualitas minyaknya. Tranformator tersebut ialah transformator yang pengukurannya lebih dari sekali. Transformator TU2-RT1,TU0-RT1, TU1-RT1, TU3-RT1,TU2-RT2 dan TU5-RT4 diukur pada pagi, siang dan malam hari. Sedangkan transformator TU5-RT1,TU5-RT2 dan TU5-RT3 diukur pada pagi dan siang hari. Transformator tersebut memiliki nilai range arus yang berbeda dari pagi

Tabel 4.24 Transformator *testing*

No.	Transformator	Waktu Pengukuran	Arus	Nilai PSD
1	TU2-RT1	Pagi	63.43	0.016399
		Siang	68.81	0.021314
		Malam	95.53	0.009969
2	TU5-RT1	Pagi	137.49	0.040952
		Siang	114.75	0.035749
3	TU5-RT2	Pagi	132.32	0.034393
		Siang	133.06	0.034067
4	TU0-RT1	Pagi	55.74	0.013832
		Siang	84.11	0.016375

No.	Transformator	Waktu Pengukuran	Arus	Nilai PSD
5	TU1-RT1	Malam	85.65	0.017049
		Pagi	57.69	0.016243
		Siang	84.14	0.016529
		Malam	92.44	0.018213
6	TU5-RT3	Pagi	122.58	0.035733
		Siang	132.14	0.035272
7	TU3-RT1	Pagi	74.01	0.017624
		Siang	94.11	0.019720
		Malam	140.58	0.017221
8	TU2-RT2	Pagi	69.41	0.016939
		Siang	66.25	0.019715
		Malam	109.53	0.017353
9	TU5-RT4	Pagi	130.12	0.033344
		Siang	140.02	0.035254
		Malam	125.98	0.030327

,siang dan malam hari. Sebagai contoh, TU7 memiliki arus 74.01 pada pagi hari dan 94.11 pada siang hari. Sedangkan pada malam hari memiliki arus nominal sebesar 109.53. Hal tersebut disebabkan pembebanan yang berbeda tiap jam pada sebuah transformator. Digit ketiga dalam penamaan transformator tersebut ialah umur aktual transformator tersebut.

```
RatarataPSD =
```

```
0.0245
```

```
Menentukan Umur Minyak Transformator berdasarkan pengelompokan yang telah dibuat
```

```
-----
```

```
Nilai Arus Nominal (Ampere) =50
```

```
Nilai PSD Wavelet (D1) =0.0245
```

```
ans =
```

```
Minyak Transformator masuk ke kelas umur A (0,1 dan 2 tahun) range arus 0-100A
```

```
>> |
```

Gambar 4.28 Tampilan program penentuan kelas umur

Untuk memudahkan dalam penentuan kelas umur transformator, dibuatlah sebuah program logika berdasarkan tabel 4.23. Gambar 4.28 merupakan tampilan dari program logika sederhana yang dibuat. Pada program tersebut, input yang diperlukan ialah nilai arus dan *PSD* dari sebuah transformator. Setelah data tersebut diinput, akan diketahui kelompok minyak transformator berdasarkan pengelompokan yang telah dibuat sebelumnya. Dari hasil tersebut dapat dilihat transformator yang diuji masuk ke kelas umur A. Hasil ini dapat digunakan sebagai *monitoring* awal terhadap minyak transformator.

Tabel 4.25 Hasil dari *testing* transformator

No.	Transformator	Waktu Pengukuran	Arus	Nilai PSD	Kelas Umur minyak
1	TU2-RT1	Pagi	63.43	0.016399	A
		Siang	68.81	0.021314	
		Malam	95.53	0.009969	
2	TU5-RT1	Pagi	137.49	0.040952	B
		Siang	114.75	0.035749	
3	TU5-RT2	Pagi	132.32	0.034393	B
		Siang	133.06	0.034067	
4	TU0-RT4	Pagi	55.74	0.013832	A
		Siang	84.11	0.016375	
		Malam	85.65	0.017049	
5	TU1-RT5	Pagi	57.69	0.016243	A
		Siang	84.14	0.016529	
		Malam	92.44	0.018213	
6	TU5-RT3	Pagi	122.58	0.035733	B
		Siang	132.14	0.035272	
7	TU3-RT1	Pagi	74.01	0.017624	A
		Siang	94.11	0.019720	
		Malam	140.58	0.017221	
8	TU2-RT2	Pagi	69.41	0.016939	A
		Siang	66.25	0.019715	
		Malam	109.53	0.017353	
9	TU5-RT4	Pagi	130.12	0.033344	B
		Siang	140.02	0.035254	
		Malam	125.98	0.030327	

Tabel 4.25 menunjukkan hasil dari pengujian terhadap transformator *testing*. Dari hasil tersebut, didapatkan kualitas minyak

transformator berdasarkan nilai PSD yang didapat masing-masing transformator. Dapat dilihat bahwa transformator yang sama dengan waktu pengukuran yang berbeda masuk kedalam kelas umur minyak transformator yang sama.

Pengukuran dilakukan lebih dari sekali bertujuan untuk memastikan keakuratan dari pengelompokan yang dibuat. Ternyata transformator yang sama dengan arus nominal yang berbeda masuk ke dalam kelas umur yang sama. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa terdapat 5 transformator yang masuk kedalam kelas umur A, yakni TU2-RT1, TU0-RT4, TU1-RT5, TU3-RT1 dan TU2-RT2. Sedangkan transformator yang masuk kedalam kelas umur B berjumlah 4 transformator, yakni TU5-RT1, TU5-RT2, TU5-RT3 dan TU5-RT4. Penentuan kelas umur minyak transformator tersebut didasarkan pada pengelompokan yang telah dibuat sebelumnya pada tabel 4.23.

Terdapat 3 kondisi yang dapat terjadi dalam *monitoring* yang dilakukan, yakni transformator tersebut memiliki umur aktual yang sama dengan hasil dari *monitoring* transformator. Kondisi yang kedua ialah transformator tersebut memiliki umur aktual transformator yang lebih tinggi daripada umur minyak transformator. Kondisi ketiga ialah Transformator memiliki nilai aktual yang lebih tinggi dibandingkan umur minyak transformator. Kondisi ketiga ialah kondisi dimana perlunya dilakukan *monitoring* terhadap transformator tersebut karena dimungkinkan adanya penuaan terhadap minyak transformator

Dari pengelompokan tersebut, terdapat 8 transformator yang memiliki umur aktual dan umur minyak transformator yang sesuai. Terdapat 1 transformator yang memiliki umur aktual dan umur transformator yang berbeda yakni TU3-RT1. Transformator TU3-RT1 memiliki umur aktual 3 tahun. Pada saat diuji, ternyata minyak transformator tersebut masuk kedalam kelas umur B. Transformator ini memiliki nilai umur minyak transformator yang lebih rendah dibandingkan dengan umur aktual. Kondisi ini tidak menjadi masalah dikarenakan nilai PSD mengindikasikan tidak adanya kondisi yang berbeda dengan yang seharusnya. Kondisi yang dihindari ialah kondisi yang ketiga yakni nilai *PSD* minyak transformator lebih tinggi dibandingkan dengan umur aktual transformator.



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D.M. Said, K. M. Nor, and M.S. Majid, “ Analysis of Distribution Losses and Life Expectancy using Measured Harmonic Data”, International Conf. on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010, 26-29 Sept. 2010
- [2] Standart PLN – 8 – 2 1991
- [3] S. Boudraa, L. Mokhnache, I. Fofana. “A comparative Study of impact of Electrical stress and thermal aging on transformer oil,” in : 11th Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 2014
- [4] SPLN, “*Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*”, PT. PLN (persero) P3B, 2003
- [5] John Snell, “Best Practices for using Infrared Thermography for Condition Monitoring of Oil-filled Utility Assets”, Snell Infrared, 2005.
- [6] Cusido Jordi and Romeral Luis, “ Fault Detection in Induction Machine Using *Power Spectral Density* in Wavelet Decomposition’, IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. 55, no. 2, February 2008



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan


Setelah dilakukannya proses penilitan studi literatur, pengambilan data transformator daya, pengolahan data, pemodelan transformator berdasarkan nilai *PSD* dan pengelompokan umur minyak transformator, maka terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan:

1. Terdapat 3 kondisi yang dapat terjadi dalam *monitoring* yang dilakukan, yakni transformator tersebut memiliki umur aktual yang sama dengan hasil dari *monitoring* transformator. Kondisi yang kedua ialah transformator tersebut memiliki umur aktual transformator yang lebih tinggi daripada umur minyak transformator. Kondisi ketiga ialah Transformator memiliki nilai aktual yang lebih tinggi dibandingkan umur minyak transformator. Kondisi ketiga ialah kondisi yang diperlukan adanya *monitoring* lebih lanjut.
2. Hasil pengolahan wavelet meyer berupa nilai *power spectral density* digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator
3. Pengolahan nilai *power spectral density* memiliki nilai terbaik pada dekomposisi pertama
4. Data temperatur transformator belum dapat digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator.
5. Pengelompokan umur transformator yang dilakukan ialah pengelompokan 2 kelas umur. Kelas Umur A dan kelas Umur B. Kelas umur A ialah umur minyak transformator 0,1 dan 2 tahun. Kelas Umur B ialah minyak transformator yang berumur 3 dan lebih dari 5 tahun. Pengelompokan menggunakan kelas umur ini merupakan hasil yang terbaik.

5.2 Penelitian Selanjutnya

Setelah dilakukannya penelitian ini, terdapat beberapa hal yang akan disempurnakan pada penelitian selanjutnya. Berikut ialah saran-saran yang dapat dilakukan guna mendapatkan hasil yang lebih maksimal pada penelitian selanjutnya:

1. Jumlah transformator yang menjadi objek penelitian diperbanyak dengan umur transformator yang lebih bervariasi sehingga didapatkan pengelompokan umur dan range arus yang lebih banyak.

- 
2. Penambahan parameter-parameter yang akan dijadikan acuan, seperti data minyak transformator sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat dalam penentuan umur minyak transformator.
 3. Pembuatan prototype yang dapat menampilkan data sampel arus secara online sehingga *monitoring* transformator menjadi lebih mudah untuk dilakukan.



FINAL PROJECT - TE 141599

**POWER TRANSFORMER CONDITION MONITORING
USING MEYER WAVELET BY CONSIDERING CURRENT
SPECTRUM, TEMPERATURE AND TRANSFORMER
SERVICE LIFE**

Evandro Aditia Sinuraya
NRP 2211 100 138

Advisor
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

MONITORING KONDISI TRANSFORMATOR DAYA MENGUNAKAN METODE MEYER WAVELET DENGAN MEMPERTIMBANGKAN SPEKTRUM ARUS, TEMPERATUR DAN UMUR TRANSFORMATOR

Nama : Evandro Aditia Sinuraya
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T, M.Eng.

ABSTRAK

Transformator daya 20 kV/380 V merupakan peralatan listrik vital dalam sistem distribusi. Transformator ini berhubungan langsung dengan konsumen sehingga berperan penting dalam proses penyaluran energi listrik. Saat ini banyak gangguan yang terjadi pada transformator distribusi, salah satunya disebabkan oleh kualitas minyak transformator yang kurang baik. Jika pemeliharaan tidak dilakukan dengan cepat, maka transformator akan mengalami kerusakan. Pada penelitian kali ini, akan dilakukan *monitoring* kondisi transformator daya dengan mempertimbangkan spektrum arus, temperatur dan umur transformator. Sampel arus akan diolah menggunakan metode wavelet meyer sehingga diperoleh nilai *power spectral density*. Data umur transformator digunakan untuk menunjang hasil pengelompokan umur minyak transformator, sedangkan nilai temperatur transformator belum dapat dimodelkan dalam pengelompokan ini. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini ialah pengelompokan umur minyak transformator daya berdasarkan nilai *power spectral density* yang diperoleh dari pengolahan sampel arus. Penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya, yaitu berupa penentuan kualitas minyak transformator yang dapat membantu dalam menentukan waktu penggantian minyak transformator sehingga salah satu penyebab kerusakan transformator dapat dihindari.

Kata kunci : Transformator, Minyak Transformator, *Power Spectral Density*, wavelet meyer.



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

POWER TRANSFORMER CONDITION MONITORING USING MEYER WAVELET BY CONSIDERING CURRENT SPECTRUM, TEMPERATURE AND TRANSFORMER SERVICE LIFE

Name : Evandro Aditia Sinuraya
Advisor : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Ardyono Priyadi, S.T, M.Eng.

ABSTRACT

Power transformers 20 kV / 380 V is vital electrical equipment in the distribution system. This transformer is directly related to the consumer so that very important in the process of electrical energy distribution. Nowadays many disruption that occur in distribution transformers, one of which is caused by bad transformer oil quality. If maintenance is not done quickly, there will be damage to the transformer. In this research, will be carried out a monitoring of power transformers condition by considering the spectrum of currents, temperature and transformer service life. Current sample will be processed using meyer wavelet methods to obtain the value of the power spectral density. The age of transformers are used to support the results of the age grouping of transformer oil while the value of temperature of the transformer can not be modeled in this grouping. Therefore, the result of this study is the age groupings of power transformer oil based on power spectral density values obtained from the processing stream of current sample. This study can be used as a basis for further research, in the form of the determination of the quality of the transformer oil which can help in determining the time of replacement of transformer oil so that one cause of the transformer damage can be avoided.

Kata kunci : Transformer, Transformer oil, Power Spectral Density, Meyer Wavelet.



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

KATA PENGANTAR

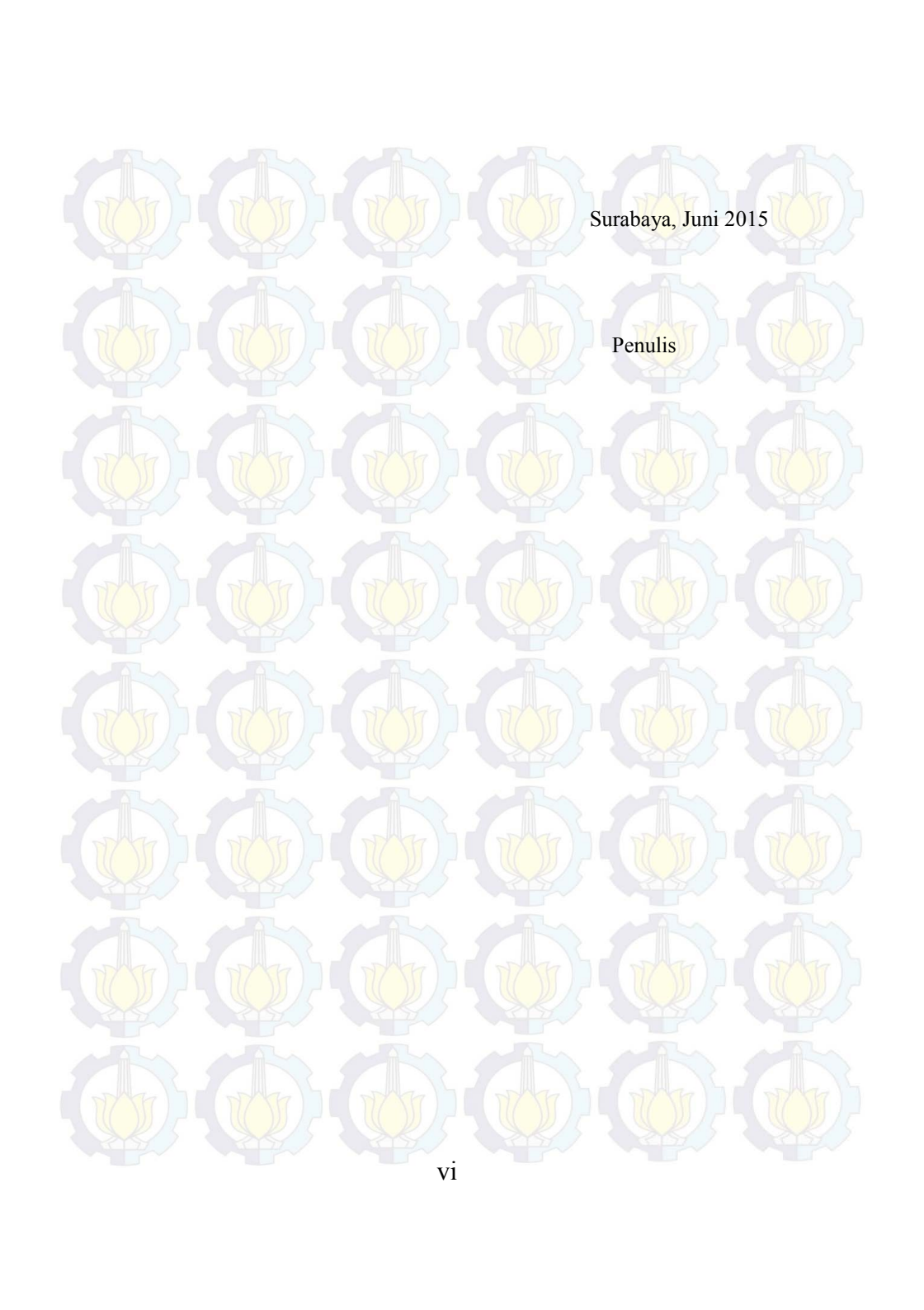
Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

Monitoring Kondisi Transformator Daya Menggunakan Metode Meyer Wavelet dengan Mempertimbangkan Spektrum Arus, Temperatur dan Umur Transformator

Melalui lembar ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghormatan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan yang maha esa atas segala nikmat dan rahmat yang telah diberikan selama ini.
2. Ayah, Ibu, dan keluarga penulis yang tiada henti-hentinya mencurahkan kasih sayang, perhatian, dan doa kepada penulis selama ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. dan Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan meluangkan waktu untuk membantu pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro ITS yang telah membina dan memberikan ilmu kepada penulis selama menempuh studi di Teknik Elektro ITS.
5. Christabella Rotua Hutapea yang selama ini sudah mendukung dan mengingatkan setiap hari terlebih ketika menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Sahabat asisten Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran, dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) yang selalu memberikan dukungan dan pencerahan.
7. Teman-teman Teknik Elektro ITS angkatan 2011 yang membantu dan mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Serta pihak-pihak lain yang namanya tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Bagaimanapun juga penulis telah berusaha sebaik-baiknya dalam menyusun Tugas Akhir ini, namun penulis mohon maaf apabila terdapat kekurangan, kesalahan maupun kelalaian yang telah penulis lakukan. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan sebagai bahan perbaikan selanjutnya.



Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB 1 PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir dan Manfaat.....	3
1.4 Metodologi.....	3
1.5 Sistematika Laporan	4
1.6 Relevansi	5
 BAB 2 TRANSFORMATOR DAN WAVELET	 7
2.1 Transformator.....	7
2.1.1 Transformator Daya	9
2.1.2 Konstruksi dan Jenis Transformator	10
2.1.3 Kenaikan Temperatur pada Transformator	12
2.1.4 Minyak Transformator	13
2.2 Termografi	15
2.3 Kamera Thermal.....	16
2.4 Transformasi wavelet.....	16
2.4.1 Wavelet Meyer	18
2.5 Energi dan <i>Power Spectral Density</i>	19
 BAB 3. PROSES PENGAMBILAN DATA DAN METODE	
PENELITIAN	21
3.1 Penentuan Objek Pengukuran dan Pengambilan Data	21
3.2 Alat Ukur yang Digunakan	22
3.3 Pengambilan Data Arus Menggunakan Power Quality Analyzer	
HIOKI 3196.....	27
3.4. Pengambilan Data Temperatur Transformator.....	29
3.4.1 Setting Kamera Inframerah	30
3.5 Pengolahan Data Sampel Arus	31

3.5.1 Wavelet dan <i>Power Spectral Density</i> (PSD).....	32
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN HASIL ANALISIS	35
4.1 Data Arus Transformator.....	35
4.2. Data Temperatur Transformator Daya	45
4.3 Pengolahan Data Arus Menggunakan Wavelet	48
4.4 Analisa <i>Power Spectral Density</i>	50
4.4.1 Data Energi dan <i>Power Spectral Density</i>	51
4.4.2 Penentuan Pola <i>Power Spectral Density</i>	56
4.4.2.1 Pengelompokan Menggunakan 6 kelas umur	61
4.4.2.2 Pengelompokan Menggunakan 3 Kelas Umur	63
4.4.2.3 Pengelompokan Menggunakan 2 Kelas Umur	66
4.5 Pengelompokan Umur Transformator Berdasarkan Nilai <i>PSD</i> ..	68
4.5.1 <i>Monitoring</i> Transformator Daya	70
BAB 5.PENUTUP.....	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Penelitian Selanjutnya	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
BIOGRAFI PENULIS	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi batas temperatur pada setiap kelas transformator.	12
Tabel 3.1 Spesifikasi HIOKI 3196.....	23
Tabel 3.2 Spesifikasi kamera FLIR T250	25
Tabel 3.3 Spesifikasi kamera Fluke Ti125	27
Tabel 4.1 Transformator dengan arus nominal 0-100A	36
Tabel 4.2 Transformator dengan arus nominal 101-200A	38
Tabel 4.3 Data temperatur transformator	47
Tabel 4.4 Range frekuensi tiap dekomposisi.....	50
Tabel 4.5 Nilai energi transformator 0 tahun	53
Tabel 4.6 Nilai <i>PSD</i> transformator 0 tahun.....	53
Tabel 4.7 Nilai Energi transformator 1 tahun.....	53
Tabel 4.8 Nilai <i>PSD</i> transformator 1 tahun.....	53
Tabel 4.9 Nilai energi transformator 2 tahun	54
Tabel 4.10 Nilai <i>PSD</i> transformator 2 tahun	54
Tabel 4.11 Nilai energi transformator 3 tahun	54
Tabel 4.12 Nilai <i>PSD</i> transformator 3 tahun.....	54
Tabel 4.13 Nilai energi transformator berumur 5 tahun	55
Tabel 4.14 Nilai <i>PSD</i> transformator berumur 5 tahun	55
Tabel 4.15 Nilai <i>PSD</i> transformator range Arus 0-100A berdasarkan..... pengurutan Nilai d1	61
Tabel 4.16 Nilai <i>PSD</i> transformator Range Arus 101-200 A..... berdasarkan pengurutan nilai d1	62
Tabel 4.17 Pengelompokan umur transformator	63
Tabel 4.18 Nilai <i>PSD</i> transformator range arus 0-100A berdasarkan..... pengurutan nilai d1 menggunakan 3 kelas umur.....	63
Tabel 4.19 Nilai <i>PSD</i> transformator range arus 101-200 A berdasarkan... pengurutan nilai d1 menggunakan 3 kelas umur.....	65
Tabel 4.20 Pengelompokan umur transformator	66
Tabel 4.21 Nilai <i>PSD</i> transformator range arus 0-100A berdasarkan..... pengurutan nilai d1 menggunakan 2 kelas umur.....	66
Tabel 4.22 Nilai <i>PSD</i> transformator range umur 101-200 berdasarkan..... pengurutan nilai d1 menggunakan 2 kelas umur.....	67
Tabel 4.23 Pengelompokan umur transformator berdasarkan range arus... dan <i>Power Spectral Density</i>	69
Tabel 4.24 Transformator <i>testing</i>	70
Tabel 4.25 Hasil dari <i>testing</i> transformator.....	72



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Transformator distribusi 20 kV/380 V	9
Gambar 2. 2	Transformator (a) tipe Inti satu sasa dan (b) tipe inti..... tiga fasa	11
Gambar 2. 3	Transformator (a) tipe cangkang satu fasa dan (b) tipe..... cangkang tiga fasa	12
Gambar 2. 4	Tiga level <i>wavelet decomposition tree</i>	17
Gambar 3. 1	Power quality analyzer HIOKI 3196	22
Gambar 3. 2	Kamera <i>thermal imaging</i> FLIR T250	26
Gambar 3. 3	Kamera <i>thermal imagers</i> Fluke Ti125	26
Gambar 3. 4	Transformator dan panel transformator	28
Gambar 3. 5	Pengambilan sampel arus pada transformator daya.....	29
Gambar 3. 6	Bentuk gelombang arus hasil sampling menggunakan..... HIOKI 3196	31
Gambar 3. 7	Range frekuensi tiap level dekomposisi.....	32
Gambar 4.1	Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa R	39
Gambar 4.2	Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa S.....	39
Gambar 4.3	Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa T	40
Gambar 4.4	Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 fasa R	40
Gambar 4.5	Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 Fasa S.....	41
Gambar 4.6	Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 fasa T	41
Gambar 4.7	Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa R	41
Gambar 4.8	Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa S.....	42
Gambar 4.9	Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa T	42
Gambar 4.10	Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa R	43
Gambar 4.11	Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa S.....	43
Gambar 4.12	Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa T	44
Gambar 4.13	Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa R	44
Gambar 4.14	Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa S.....	45
Gambar 4. 15	Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa T	45
Gambar 4.16	Gambar hasil kamera <i>thermal imaging</i> FLIR T250 pada... Transformator 0-II	46
Gambar 4.17	Gambar hasil kamera thermal imagers Fluke Ti125 pada transformator 5-RT3.....	47
Gambar 4.18	Hasil dekomposisi wavelet pada transformator 0-RT1 ...	49
Gambar 4.19	Hubungan arus dan <i>PSD</i> d1	56
Gambar 4.20	Hubungan arus dan <i>PSD</i> d2.....	56
Gambar 4.21	Hubungan arus dan <i>PSD</i> d3.....	57

Gambar 4.22 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d4	57
Gambar 4.23 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d5	58
Gambar 4.24 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d6	58
Gambar 4.25 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d7	59
Gambar 4.26 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d8	59
Gambar 4.27 Hubungan arus dan <i>PSD</i> d9	60
Gambar 4.28 Tampilan program penentuan kelas umur	71

BIOGRAFI PENULIS



Evandro Aditia Sinuraya dilahirkan di Juhar pada 18 Desember 1992. Penulis memulai jenjang pendidikan di SD Budi Murni 2 Medan, SMP Putri Cahaya Medan, dan SMA Santo Thomas 1 Medan hingga lulus tahun 2010. Pada tahun 2010, penulis sempat melanjutkan sekolah selama setahun di Universitas Padjadjaran, Bandung. Pada tahun 2011, penulis pindah ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Jurusan Teknik Elektro. Semasa kuliah, penulis aktif sebagai Asisten Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran, dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Penulis dapat dihubungi melalui email: evandro.aditia@gmail.com

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika laporan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan hal yang sangat penting dalam segala aspek kehidupan. Energi listrik digunakan di semua bidang untuk mensuplai peralatan-peralatan listrik. Energi listrik dihasilkan dari sebuah pembangkit dan disalurkan melalui saluran transmisi hingga distribusi. Saluran distribusi ialah saluran yang berhubungan langsung dengan konsumen. Untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit menuju konsumen melalui saluran distribusi dibutuhkan sebuah transformator daya. Transformator daya yang langsung berhubungan dengan konsumen ialah transformator step down 20 kV/380 V. Sering terjadi kerusakan tiba-tiba pada transformator dikarenakan pemeliharaan transformator yang jarang dilakukan dan sulitnya identifikasi dini kerusakan pada transformator, khususnya minyak transformator.

Secara umum beban yang dipakai oleh konsumen ialah beban non linier. Beban non linier ialah salah satu sumber timbulnya harmonik arus pada transformator. Harmonik yang muncul karena beban non linier akan meningkatkan rugi pada transformator dan akan mengurangi umur penggunaan transformator. Peningkatan rugi transformator yang disebabkan distorsi harmonik dapat menyebabkan rugi belitan yang besar dan kenaikan temperatur yang tidak normal [1]

Minyak transformator ialah salah satu media isolasi pada transformator. Semakin bertambahnya umur penggunaan transformator akan menyebabkan perubahan minyak transformator seperti warna, komponen kimiawi hingga molekul. Kondisi minyak transformator yang buruk dapat menimbulkan panas berlebih. Panas berlebih dapat mengakibatkan kebocoran dielektrik. Jika dibiarkan terus menerus, akan terjadi kerusakan pada transformator yang menyebabkan suplai energi listrik ke konsumen menjadi terhambat.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan studi mengenai minyak transformator dengan menganalisis sampel arus dan hasil foto dari thermal imager. Sampel arus tersebut dianalisis menggunakan metode wavelet meyer sehingga menghasilkan nilai *power spectral density* yang

dapat digunakan untuk pengelompokan kualitas umur minyak transformator. Hasil foto dari *thermal imager* digunakan untuk membantu pengelompokan kualitas minyak transformator. Hal ini didasari bahwa semakin tinggi temperatur transformator maka fungsi minyak transformator sebagai media isolasi dan pendingin tidak berfungsi dengan baik. Oleh karena itu, jika temperatur sebuah transformator tinggi, dapat disimpulkan bahwa kualitas minyak transformator kurang baik.

Kondisi minyak transformator dibandingkan dengan nilai *power spectral density* dari berbagai umur. Dari perbandingan ini dibuat sebuah pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan nilai arus dan *power spectral density*. Jika kualitas minyak transformator dengan umur rendah sama dengan kualitas minyak transformator dengan umur yang lebih tinggi maka kualitas minyak transformator tersebut dapat dikatakan buruk. Jika dibiarkan terus menerus, minyak transformator yang buruk dapat merusak transformator. Penelitian ini dapat menjadi fondasi untuk penelitian selanjutnya dengan lebih banyak lagi parameter yang digunakan. Jika pergantian minyak tranformator dilakukan dengan tepat waktu maka salah satu penyebab kerusakan transformator dapat dihindari sehingga suplai energi listrik ke konsumen tetap lancar

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana input spektrum arus, temperatur dan umur transformator dapat digunakan untuk menentukan kondisi minyak transformator.
2. Bagaimana cara membuat pengelompokkan kondisi transformator daya dengan menganalisis spektrum arus menggunakan metode *meyer wavelet* pada software MATLAB

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Transformator yang akan dijadikan objek penelitian ialah transformator daya 20 kV/380 V
2. Jenis *wavelet* yang digunakan ialah *meyer wavelet* menggunakan software MATLAB
3. Umur aktual transformator yang diukur ialah 0 tahun, 1 tahun, 2 tahun, 3 tahun dan lebih dari 5 tahun

1.3 Tujuan Tugas Akhir dan Manfaat

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui kondisi minyak transformator dengan cara membandingkannya terhadap minyak transformator yang berbeda umur. Dengan cara ini kita dapat mengetahui kondisi minyak transformator tersebut. Semakin tua umur minyak transformator dari hasil analisis tersebut, semakin tinggi nilai *power spectral density* dari sebuah transformator.

Penelitian pada tugas akhir ini memiliki manfaat:

1. Dapat menjadi referensi bagi penelitian berikutnya dengan menggunakan parameter yang lebih banyak lagi
2. Dapat dijadikan acuan awal untuk melihat kondisi minyak transformator
3. Dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa dengan tugas akhir ini

1.4 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga yaitu tahap perancangan sistem, pengujian sistem dan tahap analisis. Adapun penjelasan tentang ketiga sistem tersebut adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Proses awal yang akan dilakukan ialah mencari literatur yang berhubungan dengan tugas akhir yang diambil. Literatur yang digunakan berasal dari jurnal, buku dan internet. Literatur yang digunakan berhubungan dengan transformator distribusi, wavelet dan *power spectral density*

2. Pengambilan data transformator daya

Pada tahapan ini, dilakukan pengambilan data spectrum arus, temperatur transformator daya. Data ini sebagai inputan pada pemodelan wavelet.

3. Pemodelan Wavelet

Pemodelan wavelet dilakukan untuk dapat menganalisis spektrum arus transformator. Hasil dari wavelet adalah data energi dan *power spectral density* (PSD).

4. Pengelompokan kualitas umur minyak transformator

Setelah dianalisis menggunakan wavelet, didapatkan nilai *power spectral density*. Nilai PSD digunakan untuk mengelompokkan kualitas umur minyak transformator yang dianalisis.

5. Penarikan kesimpulan dan pembuatan buku tugas akhir

Penulisan laporan dilakukan sebagai peggambaran kesimpulan dari tugas akhir ini. Kesimpulan tersebut merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Dari studi ini akan diketahui umur minyak transformator dan dapat mengetahui waktu yang tepat untuk melakukan penggantian minyak transformator sehingga salah satu penyebab kerusakan transformator dapat dihindari.

1.5 Sistematika Laporan

Dalam penulisan buku Tugas Akhir ini sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, masalah, tujuan, dan metodologi penelitian, serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB 2 Dasar teori

Bab ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini. Teori ini digunakan sebagai dasar dalam penulisan tugas akhir.

BAB 3 Pengambilan data dan Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang proses pengambilan data transformator. Data transformator yang diambil ialah transformator yang berumur 0 tahun hingga transformator yang berumur lebih dari 5 tahun. Data yang diambil ialah data spektrum arus dan temperatur transformator. Data spektrum arus diambil menggunakan alat power quality analyzer. Selanjutnya data arus diolah menggunakan metode meyer wavelet untuk mendapatkan nilai *power spectral density*. Sedangkan data temperatur transformator diambil menggunakan kamera thermal imaging. Data temperatur digunakan untuk mendukung penentuan kualitas umur minyak transformator

BAB 4 Pengolahan data dan Hasil Analisis

Bab ini berisi tentang hasil dari spektrum arus dan gambar temperatur transformator yang telah diukur. Selain itu, juga ditampilkan hasil dari pengolahan spectrum arus menggunakan software matlab. Hasil yang diperoleh ialah berupa nilai *power spectral density*. Hasil ini selanjutnya digunakan untuk mengelompokkan kondisi minyak transformator tersebut.

BAB 5 Kesimpulan dan Penelitian Selanjutnya

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat ditarik dari proses penelitian yang telah dilakukan. Selain kesimpulan, juga terdapat saran-saran untuk proses penelitian selanjutnya

1.6 Relevansi

Tugas akhir ini menjadi acuan awal dalam menentukan kualitas minyak transformator berdasarkan arus dan temperatur transformator. Arus dari transformator diolah menggunakan metode meyer wavelet sehingga menghasilkan nilai *power spectral density*. Nilai *PSD* dan arus digunakan dalam membuat sebuah pengelompokan umur minyak transformator. Tugas akhir ini juga dapat menjadi awalan untuk menentukan kualitas umur transformator dengan menggunakan parameter arus berbasis nilai *power spectral density*. Diharapkan pada penelitian *selanjutnya* yang mengacu pada penelitian ini, parameter-parameter dalam menentukan kualitas minyak transformator dapat ditambah sehingga keakuratan dalam penentuan kualitas minyak transformator menjadi lebih tinggi



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

BAB 2

TRANSFORMATOR DAN WAVELET

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, peran transformator daya sangatlah besar. Transformator daya digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari produsen ke konsumen. Tanpa adanya transformator daya khususnya transformator daya step down, energi listrik tidak dapat digunakan oleh konsumen. Transformator daya step down digunakan untuk menurunkan rating tegangan menjadi lebih rendah. Tegangan yang telah diturunkan ini akan disalurkan ke konsumen sehingga dapat digunakan untuk mensuplai peralatan-peralatan listrik yang terdapat di rumah tangga.

Transformator ialah peralatan listrik yang membutuhkan bahan isolasi pada saat beroperasi. Bahan isolasi yang dipakai pada transformator ialah minyak transformator. Sama seperti bahan isolasi lainnya, minyak transformator juga memiliki usia pemakaian yang lamanya juga tergantung dari karakteristik beban konsumen yang ditanggung oleh transformator. Semakin besar beban dan harmonik suatu sistem tenaga listrik yang ditanggung transformator, semakin cepat pula isolasi transformator dalam hal ini minyak transformator menjadi rusak. Rusaknya komponen minyak transformator ini dapat mengakibatkan panas yang berlebihan pada transformator. Jika dibiarkan terus-menerus, akan terjadi kerusakan pada transformator. Sehingga suplai listrik menuju konsumen menjadi terhambat.

Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis sampel arus dan temperatur dari beberapa transformator daya step down. Data sampel arus dari sejumlah transformator dengan umur berbeda-beda ini selanjutnya dianalisis menggunakan metode wavelet. Dari Analisis ini, kita dapat mengetahui kondisi minyak transformator tersebut. Apakah minyak tersebut masih layak digunakan atau sudah seharusnya diganti untuk menghindari kerusakan transformator

2.1 Transformator

Transformator ialah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk memindahkan energi listrik atau memindahkan dan mengubah energi listrik bolak-balik dari suatu nilai tegangan tertentu menjadi nilai tegangan yang berbeda.

Pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti besi yang dibuat berlapis-lapis, dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer

dan kumparan sekunder. Kumparan tersebut dipisahkan oleh inti besi sehingga tidak terhubung secara langsung. Hubungan antar kumparan tersebut ialah melalui fluks magnetik bersama yang terdapat dalam inti. Salah satu dari kumparan tersebut dihubungkan ke sumber listrik bolak-balik sedangkan kumparan yang lainnya dihubungkan ke beban yang akan disuplai oleh transformator. Kumparan yang terhubung dengan sumber listrik bolak-balik disebut kumparan primer sedangkan yang lainnya ialah kumparan sekunder. Jika terdapat kumparan ketiga disebut kumparan tersier.

Transformator digunakan dalam setiap sistem tenaga listrik bolak-balik. Dengan transformator, dimungkinkan pengiriman listrik bolak-balik jarak jauh. Secara umum transformator memiliki fungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan listrik. Transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan disebut step up sedangkan transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan listrik disebut step down. Transformator juga memiliki fungsi untuk penstabil tegangan. Maka dari itu, sebelum sampai di konsumen khususnya rumah tangga, distribusi arus listrik akan melalui sebuah transformator agar tegangan yang sampai di konsumen sesuai dengan kebutuhan.

Selain fungsi yang telah dijelaskan diatas, keberadaan transformator juga dapat mengurangi kerugian dalam sistem tenaga listrik. Dalam penyaluran energi listrik, *losses* banyak terjadi akibat dissipasi daya yang muncul. Dissipasi daya menjadi sangat besar disaat arus yang mengalir melewati saluran juga besar. Oleh sebab itu, transformator yang mempunyai fungsi untuk menaikkan tegangan dapat digunakan untuk mengurangi *losses* tersebut. Dengan daya yang sama, disaat tegangan dinaikkan maka arus akan menjadi kecil. Arus kecil tersebut dapat mengurangi *losses* yang muncul akibat panas yang muncul pada saluran transmisi atau distribusi.

Tegangan yang paling tinggi pada sistem kelistrikan di Indonesia saat ini ialah 500 kV. Tegangan ini dibuat sedemikian tinggi berguna untuk mengurangi kerugian yang terjadi pada saat penyaluran energi listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh generator sebagai sumber umumnya berkisar antara 6-20 kV. Selanjutnya tegangan dinaikkan menggunakan transformator pada awal saluran transmisi. Tegangan diturunkan lagi menjadi lebih rendah pada saat mencapai konsumen agar dapat digunakan untuk mensuplai peralatan listrik yang ada. Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik dekat konsumen ialah transformator daya.

2.1.1 Transformator Daya

Transformator daya ialah suatu peralatan listrik yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya dari suatu level tegangan tertentu ke level tegangan lain. Transformator daya dapat digunakan sebagai penaik tegangan (*step up*) ataupun sebagai penurun tegangan (*step down*). Transformator daya juga secara umum digunakan untuk menyalurkan daya dari produsen ke konsumen.



Gambar 2. 1 Transformator distribusi 20 kV/380 V

Transformator yang diproduksi telah melalui sebuah pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan sebelumnya. Standar pengujian transformator yang digunakan untuk menguji sebuah transformator ialah sesuai SPLN'50-1982, sebagaimana juga dijelaskan dalam IEC 76 (1976). Pengujian – pengujian yang dimaksud ialah :

a. Pengujian rutin

ialah pengujian yang dilakukan pada setiap transformer secara rutin, meliputi:

- pengujian tahanan isolasi
- pengujian tahanan kumparan
- pengujian perbandingan belitan pengujian vector group
- pengujian rugi besi dan arus kosong
- pengujian rugi tembaga dan impedansi
- pengujian tegangan terapan (withstand test)

b. Pengujian jenis

ialah pengujian yang dilakukan pada sebuah transformator yang mewakili transformator lain yang sejenis. Pengujian ini dilakukan pada

pengujian ini ialah pengujian yang belum termasuk dalam pengujian rutin. Pengujian jenis meliputi:

- pengujian kenaikan temperatur
- pengujian impedansi

c. pengujian khusus

ialah pengujian selain pengujian rutin dan pengujian jenis. Pengujian ini dilakukan atas persetujuan pabrik dan pembeli. Pengujian ini dilakukan pada satu atau lebih transformator dari sejumlah transformator yang sudah dipesan dalam sebuah kontrak. Pengujian khusus meliputi:

- pengujian dielektrik
- pengujian impedansi urutan nol pada transformator tiga fasa
- pengujian hubung singkat
- pengujian harmonik pada arus beban kosong
- pengujian tingkat bunyi akustik
- pengukuran daya yang diambil oleh motor-motor kipas dan pompa minyak

2.1.2 Konstruksi dan Jenis Transformator

Secara umum, sebuah transformator terdiri dari kumparan dan inti besi. Kedua kumparan ini tidak berhubungan langsung secara fisik tetapi dihubungkan oleh medan magnet. Berikut ialah konstruksi transformator secara umum ialah sebagai berikut:

1. inti (core) yang dilaminasi

Inti besi ialah bagian utama yang berada pada transformator yang berfungsi sebagai jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan transformator. Arus listrik yang melalui kumparan primer terinduksi melalui inti besi. Inti besi menghubungkan kumparan primer dan sekunder. Inti besi dibuat berlapis-lapis agar dapat mengurangi panas dari rugi-rugi besi yang disebabkan eddy current

2. kumparan transformator

ialah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi, baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan menggunakan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Jika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menimbulkan induksi tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkai beban) maka mengalir arus pada kumparan tersebut.

3. Tangki dan konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator berada atau (ditempatkan) di dalam tangki. Untuk menampung pemuaian pada minyak transformator, pada tangki dilengkapi dengan sebuah konservator

4. sistem pendingin

Pada inti besi dan kumparan transformator akan timbul panas. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan temperatur yang berlebihan, maka dapat merusak isolasi transformator. Maka dari itu, untuk mengurangi kenaikan temperatur yang berlebih pada transformator, diperlukan sistem pendingin yang berfungsi menyalurkan panas keluar dari transformator. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa udara, gas, minyak dan air. Sistem sirkulasi yang padat digunakan ialah alamiah (natural) dan tekanan/paksaan (forced)

5. bushing

Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui sebuah bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator

Sedangkan menurut konstruksinya, transformator dibedakan menjadi dua tipe, yaitu:

a. tipe inti (*core form*)

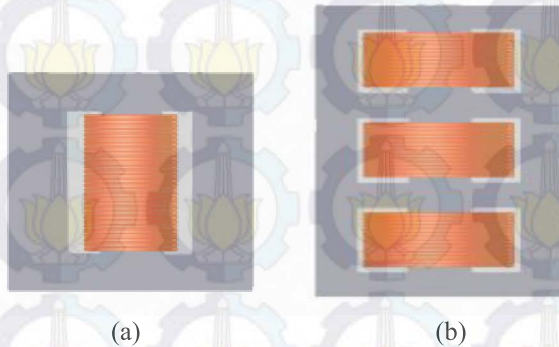
Pada transformator tipe ini, kumparan transformator mengelilingi inti.



Gambar 2. 2 Transformator (a) tipe inti satu fasa dan (b) tipe inti tiga fasa

b. tipe cangkang (*shell form*)

Tipe konstruksi transformator yang kedua ialah tipe cangkang. Pada transformator tipe ini, kumparan atau belitan dikelilingi oleh inti.



Gambar 2. 3 Transformator (a) tipe cangkang satu fasa dan (b) tipe cangkang tiga fasa

2.1.3 Kenaikan Temperatur pada Transformator

Jika pembebanan pada sebuah transformator dinaikkan, maka akan terjadi peningkatan temperatur pada transformator. Kenaikan temperatur pada transformator ini, salah satunya disebabkan oleh semakin besarnya arus yang mengalir pada belitan transformator dan juga induksi besi pada transformator. Panas yang terlalu tinggi dapat berdampak negative pada transformator yakni pada sifat konstruksi transformator tersebut. Setiap transformator memiliki nilai susut umur. Umur pakai transformator direpresentasikan dengan nilai susut umur sebuah transformator. Transformator yang mengalami kenaikan temperatur 9°C dari batas yang sesungguhnya, akan meningkatkan nilai susut umur dari transformator tersebut. Klasifikasi batas temperatur pada setiap kelas transformator dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi batas temperatur pada setiap kelas transformator.[2]

Kelas	Kenaikan Temperatur Transformator ($^{\circ}\text{C}$)	Batas Temperatur Tertinggi
O	40	90
A	50	105
E	60	120
B	70	130
F	85	155
H	95	180

2.1.4 Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Kumparan dan inti transformator direndam di dalam minyak transformator. Secara umum, fungsi minyak transformator ada 3, yakni untuk mengisolasi kumparan transformator agar tidak terjadi loncatan bunga api listrik. Fungsi kedua ialah sebagai pendingin, yaitu dengan cara menyerap panas kemudian panas tersebut disalurkan kedinding transformator dan melepas panas ke udara sekitar. Fungsi ketiga ialah melindungi komponen-komponen di dalam transformator dari bahaya korosi dan oksidasi. Selain ketiga fungsi tersebut, minyak transformator dapat dijadikan acuan untuk menentukan kondisi transformator dan memprediksi umur dari transformator[3]

Suatu minyak transformator harus memenuhi persyaratan sebagai berikut [4]:

1. Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 untuk minyak baru dan belum di filter $> 30 \text{ kv}/2.5 \text{ mm}$. Sedangkan setelah di filter $> 50 \text{ kv}/2.5 \text{ mm}$.
2. Penyaluran panasnya baik dan berat jenisnya kecil sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat
3. Mempunyai viskositas yang rendah sehingga memudahkan untuk bersirkulasi agar kemampuan pendinginan menjadi lebih baik
4. Mempunyai titik nyala yang tinggi dan tidak mudah menguap agar tidak membahayakan kondisi transformator. Sesuai IEC 296 *flash point* minyak transformator di atas 163°C dan *pour point* di bawah -30°C
5. Tidak merusak bahan isolasi padat.

Minyak transformator juga memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi agar dapat dikategorikan sebagai minyak yang baik, yakni:

1. Minyak harus jernih (*appearance*)

Minyak isolasi harus jernih dan tidak mengandung suspensi atau endapan

2. Massa jenis (*density*)

Massa jenis minyak dibatasi agar air tidak tercampur dengan minyak transformator. Minyak transformator memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan massa jenis air. Massa jenis minyak yang harus dipenuhi ialah $0.895 \text{ gr}/\text{cm}^3$

3. Tegangan tembus (*Breakdown voltage*)

Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran, debu atau atikel konduktif dalam minyak. Untuk minyak baru, angka tegangan tembus adalah :

- sebelum difilter = $e30kV/2.5\text{ mm}$ atau $e\ 80\text{ KV/mm}$
- setelah difilter = $e50KV/2.5mm$ atau $e\ 120\text{ KV/mm}$

4. Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity*)

Viskositas atau kekentalan minyak memegang peranan penting dalam pendiginan transformator. Viskosita digunakan untuk menentukan kelas minyak dan kurang dipengaruhi oleh kontaminasi atau kekeruhan. Viscositas pada temperatur 20°C antara $25\text{ d x d }40\text{ cSt}$

5. Titik nyala (*Flash point*)

Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat yang mudah terbakar. Titik nyala yang disyaratkan dalam minyak isolasi adalah $e\ 140^{\circ}\text{C}$

6. Titik Tuang (*pour point*)

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi. Nilai yang di persyaratkan $d-30^{\circ}$

7. Angka kenetralan (*Neutralization Number*)

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam minyak isolasi dan dapat mendekteksi kontaminasi minyak yang menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambah.

Pada kondisi operasi transformator dalam kondisi bertegangan yang dialiri listrik, maka panas yang timbul ialah sekitar 60°C sampai dengan 80°C . Panas ini selanjutnya disalurkan melalui proses konveksi dan radiasi melalui sirip sirip pendingin. Keluar masuknya udara luar yang mengandung zat asam akan bercampur dengan minyak yang selanjutnya akan terjadi per-senyawaan asam dan air yang lambat laun akan menaikkan kadar asam. Bila hal ini dibiarkan terus menerus, akan mengakibatkan kerusakan pada minyak transformator dan lilitan/kumparan transformator. Viscositas minyak menjadi kenatal, kemampuan mendinginkan transformator menjadi rendah dan tegangan tembus akan turun.

Angka kenetralan ini dipakai sebagai petunjuk umum pada transformator. Bila angka ini lebih besar dari 0.03 mgKOH/gr maka minyak sudah harus diganti atau difilter.

8. Korosi belerang (*Corrosiven Sulphur*)

Pengujian ini dilakukan untuk menunjukkan kemungkinan korosi yang disebabkan karena adanya kandungan belerang (sulphur) bebas dalam minyak transformator. Bila dalam minyak transformator terkandung unsur belerang, maka akan terjadi ikatan ion S membentuk senyawa H_2SO_3 (akan terjadi korosif) atau gas H_2S

9. Faktor kebocoran dielektrik (*Dielectrix Dissipation Factor*)

Nilai yang tinggi dari faktor ini menunjukkan adanya kontaminasi misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali dll. Sesuai dengan SPLN, angka yang di syaratkan ialah d 0.05 menurut standar pengujian IEC 250

10. Stabilitas / Kemantapan Oksidasi (*Ozydation Stability*)

Pengujian ini berguna untuk melihat apakah minyak tahan terhadap oksidasi atau tidak

11. Kandungan air (*water content*)

Kandungan air yang tinggi akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak transformator. Adanya kandungan air juga mempercepat kerusakan kertas pengisolasi (*insulating paper*)

12. Tahanan jenis (*resistivity*)

Tahanan jenis yang rendah menunjukkan terjadinya kontaminasi yang bersifat konduktif

13. Tegangan permukann (*Interfacial tension*)

Adanya kontaminas dalam zat yang terlarut pada umumnya dapat menurunkan nilai tegangan permukaan.

14. Kandungan Gas (*Gas Content*)

Adanaya gas yang terlarut dalam minyak transformator dapat digunakan untuk mengetahui kondisi minya transformator

2.2 Termografi

Termografi ialah jenis pencitraan yang dilakukan untuk mengetahui temperatur dari suatu objek tertentu. Termografi pada transformator daya digunakan untuk mengetahui temperatur transformator pada titik-titik tertentu. Dengan termografi kita dapat mengetahui temperatur maksimal dan minimal serta temperatur spot pada transformator. Suhu ini dapat diketahui berdasarkan warna-warna yang ada pada gambar tersebut. Warna yang berbeda merepresentasikan suhu yang berbeda. Oleh karena itu, termografi memungkinkan seseorang untuk melakukan pengukuran suhu secara non-kontak pada suatu objek.

Termografi pada transformator daya menggunakan kamera IR. Radiasi inframerah (IR) tidak dapat terdeteksi oleh mata manusia tetapi kamera IR dapat mengubahnya menjadi gambar visual yang

merepresentasikan variasi thermal pada suatu objek yang teliti. IR merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik. IR dipancarkan oleh semua objek pada suhu diatas suhu mutlak. Jumlah radiasi inframerah akan meningkat sebanding dengan kenaikan suhu objek tersebut.

2.3 Kamera Thermal

Kamera thermal ialah kamera radiasi inframerah yang dipancarkan dari objek yang diukur dan menunjukkannya dalam bentuk gambaran suhu dari permukaan sebuah objek. Hasil yang didapat dari kamera thermal ialah berupa gambar dengan informasi suhu disetiap bagian pada objek transformator yang diteliti. Kamera thermal yang digunakan pada penelitian ini ialah tipe flir 250.

Berikut ialah kondisi yang harus diperhatikan saat pemantauan transformator daya dengan kamera thermal [5]

1. Permukaan peralatan yang akan difoto menggunakan kamera thermal

Logam yang tidak dicat akan mencerminkan bayangan yang ada didepan benda tersebut. Jika bagian dari logam ini difoto menggunakan kamera thermal, maka hasil foto tersebut ialah benda yang tercermin pada logam tersebut. Oleh sebab itu, sebaiknya untuk logam yang akan difoto dengan kamera thermal harus dicat terlebih dahulu agar hasil dari kamera thermal tersebut akurat sesuai dengan objek yang hendak diukur

2. Sistem beban

Peningkatan jumlah beban pada transformator akan meningkatkan temperatur. Saat bebannya tinggi, keadaan thermal cenderung lebih tinggi dibandingkan disaat beban rendah

3. Angin

Angin akan mempengaruhi pendinginan dari alat yang akan diuji

4. Kondisi lingkungan (*ambient conditions*)

Suhu udara dan pemanasan matahari akan mempengaruhi kondisi alat yang akan diuji. Semakin tinggi intensitas matahari, kondisi thermal objek yang akan diuji cenderung lebih tinggi

2.4 Transformasi wavelet

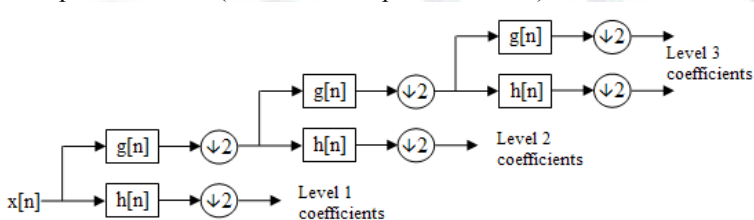
Berdasarkan referensi [6], transformasi wavelet ialah metode transformasi yang mentransformasi signal dalam domain waktu menjadi signal dalam domain waktu dan frekuensi. Metode transformasi ini mengadopsi metode *Fourier Transform* dan *Short Time Fourier Transform*. Transformasi wavelet menggunakan dua komponen penting

dalam melakukan transformasi yakni fungsi skala (*scaling function*) dan fungsi wavelet (*wavelet function*).

Secara umum transformasi wavelet terdiri dari 2, yakni transformasi wavelet kontinu dan transformasi wavelet diskrit. Cara kerja transformasi wavelet kontinu (TWK) adalah dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan setiap skala yang diinginkan. Jendela modulasi yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk wavelet atau fungsi dasar wavelet.

Transformasi wavelet diskrit (*discrete wavelet transform*) dihitung menggunakan dua skala, yakni lowpass dan highpass filter. Filter ini menggunakan domain waktu diskrit. Secara sederhana DWT dapat dicari dengan menggunakan *filter bank*. Sinyal sumber diklasifikasikan menjadi *high-pass filter* dan *low-pass filter*. Hasil dari *high-pass filter* selanjutnya disebut *detail coefficient* sedangkan hasil *low-pass filter* disebut *approximation coefficient*.

Proses pemisahan sinyal dilakukan secara berulang-ulang sampai menghasilkan sinyal yang diinginkan. Sinyal yang rusak akan berada pada layer yang paling bawah. Teori ini disebut dengan pohon dekomposisi wavelet (*wavelet decomposition tree*)



Gambar 2.4 Tiga level *wavelet decomposition tree*

Pada gambar diatas, awalnya sinyal dilewatkan di filter *high pass* dan *low pass*. Setengah dari masing-masing hasilnya diambil untuk jadi sampel melalui operasi *sub-sampling*, proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari filter low-pass digunakan sebagai masukan di proses dekomposisi tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan.

Pada dasarnya, implementasi DWT ialah bagaimana mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan pemfilteran digital dan operasi subsampling. Implementasi sinya diskrit dapat dilihat pada rumus berikut

$$[n] = \sum_k a_{j_0,k} \phi_{j_0,k}[n] + \sum_{j=j_0}^{j-1} \sum_k d_{j,k} \varphi_{j,k}[n] \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana

$\phi[n]$ = fungsi skala

$\varphi[n]$ = wavelet induk

$\phi_{j_0,k}[n] = 2^{j_0/2} \phi(2^{j_0}n - k)$ = fungsi skala dari $s = 2^{j_0}$

$k, \phi_{j_0,k}[n] = 2^{j/2} \varphi(2^j n - k)$ = wavelet induk skala dari $s = 2^j$

$d_{j,k}$ = koefisien detail skala dari $s = 2^{j_0}$ dan $N = 2^j$

N = nomor sampel dari $x[n]$

2.4.1 Wavelet Meyer

Meyer ialah nama salah satu dari jenis wavelet yang paling bagus dan detail dalam filter sinyal. Fungsi wavelet meyer ialah sebagai berikut:

$$\hat{\Psi}(\omega) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{\frac{i\omega}{2}} \sin\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{2}{2\pi}|\omega| - 1\right)\right)$$

$$\text{jika } \frac{2\pi}{3} \leq |\omega| \leq \frac{4\pi}{3}$$

$$\hat{\Psi}(\omega) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{\frac{i\omega}{2}} \cos\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{3}{4\pi}|\omega| - 1\right)\right)$$

$$\text{jika } \frac{4\pi}{3} \leq |\omega| \leq \frac{8\pi}{3}$$

$$\hat{\Psi}(\omega) = 0$$

$$\text{jika } |\omega| \notin \left[\frac{2\pi}{3}, \frac{8\pi}{3}\right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Sedangkan fungsi pen skalaan dari *wavelet Meyer* adalah:

$$\hat{\phi}(\omega) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\text{jika } |\omega| \leq \frac{2\pi}{3}$$

$$\hat{\phi}(\omega) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \cos\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{2}{2\pi}|\omega| - 1\right)\right)$$

$$\text{jika } \frac{2\pi}{3} \leq |\omega| \leq \frac{4\pi}{3}$$

$$\hat{\phi}(\omega) = 0 \quad \text{jika } |\omega| \geq \frac{4\pi}{3} \dots \dots \dots (2.3)$$

2.5 Energi dan *Power Spectral Density*

Energi dan *Power Spectral Density* ialah hasil yang diperoleh dari filter wavelet. Energi ialah penjumlahan kuadrat nilai-nilai data pada setiap level range frekuensi sinyal tertentu. Pada penelitian ini, nilai yang dipakai ialah nilai High pass filter. Sedangkan *Power Spectral Density* (*PSD*) ialah hasil bagi antara energi dengan nilai tertinggi range frekuensi masing-masing level sinyal tertentu.

$$\text{Energi} = \sum_{d_0}^{d_1} f(\text{HPF})_n^2 \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\text{PSD} = \frac{\text{Energi}}{f(\text{HPF})_n} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana

d_1 = range akhir dari jumlah data

d_0 = range awal dari jumlah data

$f(\text{HPF})_n$ = Frekuensi high pass filter atau sinyal detail

n = level sinyal detail



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

BAB 3

PROSES PENGAMBILAN DATA DAN METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Tahapan tersebut dimulai dari penentuan objek yang akan dijadikan objek penelitian sampai dengan hasil dari parameter-parameter yang didapatkan dari pengukuran dan pengamatan yang dilakukan. Parameter yang dimaksud ialah arus, suhu dan umur transformator. Parameter arus diolah dengan menggunakan metode yang telah ditentukan. Hasil dari pengolahan ini menghasilkan pengelompokan-pengelompokan yang dapat digunakan untuk *Monitoring* terhadap transformator daya.

3.1 Penentuan Objek Pengukuran dan Pengambilan Data

Sebelum melangkah ke proses penelitian, hal pertama yang dilakukan ialah penentuan objek yang akan diukur. Objek yang dimaksud disini ialah transformator. Pada penelitian ini, akan dilakukan pengambilan sampel arus dan data harmonik dari beberapa transformator daya. Transformator daya yang akan diukur ialah transformator daya step down 20 kV/380 V. Transformator daya ini ialah transformator daya yang langsung berhubungan langsung dengan konsumen. Pengukuran dilakukan di sisi sekunder transformator yakni pada level tegangan 220 volt. Selain pengambilan data arus dan harmonik, akan dilakukan pengambilan data suhu transformator tersebut menggunakan kamera *thermal*. Pengambilan data suhu diambil lebih dari sekali untuk tiap transformator. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Transformator yang dianalisis dalam penelitian ini ialah transformator daya yang berlokasi di daerah Mojokerto, Nganjuk dan Surabaya utara. Penentuan transformator yang akan diukur ialah transformator yang bervariasi dari segi umur transformator. Pada penelitian ini, transformator yang diukur ialah transformator yang berumur 1 tahun, 2 tahun, 3 tahun dan lebih dari 5 tahun. Semakin bervariasi umur transformator, semakin banyak penggolongan yang dapat dibuat pada kesimpulan penelitian ini. Umur transformator yang dijadikan fokus bahasan dalam penelitian ini ialah umur minyak transformator. Umur tersebut dihitung dari waktu terakhir penggantian minyak transformator.

3.2 Alat Ukur yang Digunakan

Pada penelitian ini, dilakukan proses pengambilan sampel arus, harmonik dan suhu dari transformator daya. Pengambilan sampel arus dilakukan pada sisi sekunder transformator daya menggunakan alat ukur power quality analyzer. Tipe power quality yang digunakan ialah HIOKI 3196. Berikut ini ialah bentuk alat ukur yang digunakan saat pengukuran.



Gambar 3. 1 Power quality analyzer HIOKI 3196

Power quality analyzer HIOKI 3196 ialah alat ukur yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas daya. Alat ukur ini dapat mengukur tegangan, arus, daya, power faktor, harmonik, transien dan masih banyak parameter lainnya. Alat ini memiliki 8 probe tegangan dan 4 clamp arus. Probe tegangan dipasang untuk mengukur tegangan sedangkan clamp arus dipasang mengitari kabel listrik ataupun saluran tenaga listrik. Untuk pemasangan probe tegangan, 3 probe dipasang pada masing-masing saluran fasa yakni fasa R,S,T dan Netral. Keempat probe lainnya dipasang pada ground.

Pada pengukuran ini, pengukuran difokuskan pada pengambilan sampel arus dimasing-masing fasa pada transformator. Sampel arus yang diambil ialah sampel arus yang telah mengandung harmonik baik dari beban, transformator maupun dari sistem kelistrikan tersebut. Pada saat pengambilan data berupa sampel arus, data yang di *record* disimpan didalam memori HIOKI. Setelah data direkam, data tersebut dipindahkan ke laptop. Data tersebut diolah menggunakan software HIOKI yang telah diinstal sebelumnya. Pengolahan data tersebut menghasilkan

output data berupa gelombang arus. Dibawah ini ditampilkan spesifikasi dari power quality analyzer HIOKI 3196

Tabel 3.1 Spesifikasi HIOKI 3196

Spesifikasi Dasar	
Waktu hidup baterai	baterai lithium 10 tahun (referensi pada 23°C, 73°F)
Fungsi jam	kalender otomatis, tahun kabisat otomatis, 24 jam
Kapasitas memori data internal	13 MB
Periode perekaman maksimum	1 bulan (ketika menggunakan memori internal)
Maksimum <i>event</i>	Eksternal kontrol terminal
Suplai daya	-9458 AC ADAPTER (SINO-AMERICA SA 60-12V) (12VDC \pm 5%, 4.5 A) Tegangan: 100 sampai 240 VAC 50/60 Hz, maksimum arus dirating 1.2 A -9459 BATERAI (Sanyo 6HR-AU Ni-MH) untuk cadangan selama listrik mati
Fungsi isi ulang daya	menggunakan AC ADAPTER 9458 atau BATERAI 9459 untuk mengisi ulang ketika 3196 beroperasi
Rating daya maksimum	40 VA
Waktu operasi baterai kontinyu	sekitar 30 menit dengan BATERAI 9459 (terisi penuh, 23°C, 73°F)
Dimensi	sekitar 298W x 215H x 67D mm(tidak termasuk bagian dalam yang menonjol) (11.73"W x 8.46"H x 2.64 "D)
Berat	2 kg (70.5 oz) (tanpa baterai), (berat baterai kira-kira 250 g (8.8 oz))
Kualitas daya berdasar standar	IEEE1159

Spesifikasi Tampilan	
Tampilan bahasa	Inggris, Jerman, Perancis, Italia, Spanyol atau Jepang
Tampilan perangkat	6.4 inch TFT LCD warna (640 x 480 piksel)
Spesifikasi Interface Eksternal	
Interface kartu PC	
Slot	Tipe II menyesuaikan kartu PCMCIA / kartu PC JEIDA standar basis 1
Kartu Memori penunjang	kartu flash ATA (minimal 13 MB)
Kapasitas penyimpanan	528 MB
Format data	MS-DOS
Isi rekaman	pengaturan file, binary, teks dan data gambar layar
Interface RS-232C	
Sesuai standar	RS-232C EIA RS-232C, CCITT V.24, JIS X5101
Penghubung	satu 9-pin D-sub
Koneksi alat	printer atau modem
Protokol komunitas	PPP atau TCP / IP (modem saja)
Fungsi cetak	<i>hard copy</i>
Interface LAN	
Penghubung	10Base-T , konektor RJ-45 x 1
Protokol komunikasi	Ethernet, TCP/IP

Selain untuk mengukur parameter-parameter kualitas daya, pengukuran juga dilakukan pada suhu transformator tersebut. Pada penelitian ini, pengukuran suhu transformator menggunakan *thermal imaging* FLIR T250. Bentuk kamera ini ialah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2. FLIR T250 merupakan salah satu jenis kamera inframerah. Dengan kamera ini, dapat diketahui suhu pada spot atau area yang ditunjuk pada saat pengambilan gambar. Kamera ini tidak hanya menangkap foto dalam bentuk inframerah, tetapi dapat juga digunakan menangkap foto digital biasa ataupun hitam putih. Adapun spesifikasi kamera ini ialah seperti yang tertera pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Spesifikasi kamera FLIR T250

Merk	Flir
Tipe	T250
Pencitraan dan data optik :	
Sudut pandang (POV)	25° x 19°
Jarak fokus minimum	0.4 m (1.31 ft)
Fokus length	18 mm (0.7 in)
Resolusi spasial (IFOV)	1.82 mrad
Lensa identifikasi	Otomatis
F-number	1.3
Sensitifitas panas /NTED	<0.08°C @ + 30°C (+86°F)/80 mK
Frekuensi gambar	9 Hz
Fokus	Otomatis atau manual
Digital Zoom	1-2x kontinyu, digital zoom
Detektor data :	
Tipe detector	Focal plane array (FPA), uncooled Microbolometer
Rentang spectrum	7.5-13 µm
Resolusi IR	240 x 180 pixels
Presentasi gambar :	
Layar	Layar sentuh 3.5 in. LCD, 320 x 240 pixels
Pengaturan gambar	Otomatis (min. rentang 4°C / 7.2 °F) atau manual (min. rentang 2°C/3.6 °F)
Pengukuran :	
Rating temperatur objek	-20°C to + 120 °C (-4° F to + 248°F) 0°C to +350°C (+32°F to +662°F)
Ketelitian	±2°C (±3.6°F) atau ±2% dari pembacaan



Gambar 3. 2 Kamera *thermal imaging* FLIR T250

Kamera *Thermal* yang digunakan pada penelitian ini selain FLIR T250 ialah Fluke Ti125. Kamera Fluke Ti125 ditunjukkan pada gambar 3.3. Berbeda dengan kamera biasanya, bentuk kamera ini memanjang keatas sehingga gampang untuk digunakan. Kamera ini memiliki jarak fokus minimum sebesar 15 cm. Memori eksternal yang dimiliki oleh kamera ini sangat mudah dalam pemindahan data yang diambil saat dilapangan. Spesifikasi alat ini ditunjukkan pada tabel 3.3



Gambar 3. 3 Kamera *thermal imagers* Fluke Ti125

Tabel 3.3 Spesifikasi kamera fluke Ti125

Merk	Fluke
Tipe	Ti125
Pencitraan dan data optik :	
Jarak fokus minimum	15 cm (6 in)
Resolusi detector	160 X 120 (19.200 pixels)
Resolusi spasial (IFOV)	3.39 mRad
Sensitifitas panas /NTED	<0.10°C @ 30°C target temp (80 mK)
Frekuensi gambar	30 Hz atau 9 Hz
Penyimpanan data dan Pengambilan gambar	
Pilihan memori eksternal	Removable 4 Gb SD memory card dan 8 Gb wireless SD Card
Format gambar	Non radiometric (.bmp) dan fully-radiometric (.isl). Tidak membutuhkan software untuk menganalisis (.bmp, .jpg, dan .avi)
Video Streaming	Via USD to PC
Baterai	
Baterai (replaceable, rechargeable)	<i>Two lithium ion with five-segment LED display to show charge level</i>
Sistem charging AC	<i>Two-bay battery charger or imager charging. Adapter 12 V</i>
Spesifikasi Umum	
Ukuran	28.4 cm x 8.6 cm x 13.5 cm (11.2 in x 3.4 in x 5.3 in)
Berat	0.73 kg (1.6 lb)
Garansi	2 tahun

3.3 Pengambilan Data Arus Menggunakan Power Quality Analyzer HIOKI 3196

Pada data parameter kualitas daya menggunakan power quality analyzer HIOKI 3196. Kemampuan alat ukur ini ialah dapat mengukur beberapa parameter kualitas daya seperti yang telah disebutkan pada tabel 3.1. Pada dasarnya HIOKI 3196 ialah alat ukur yang digunakan untuk mengukur daya 3 fasa.

Pengukuran sampel arus dilakukan pada panel transformator yang berada di bawah transformator. Panel tersebut terhubung langsung dengan sisi sekunder transformator. Saluran R,S,T dari transformator langsung terhubung ke panel tersebut. Tegangan sistem yang ada di panel tersebut ialah 220 V. Tegangan ini merupakan tegangan yang terhubung ke konsumen.

Gambar 3.4 merupakan contoh gambar transformator dan panel transformator yang dijadikan objek penelitian. Tranformator terletak di atas sedangkan panel tranformator terletak dibawahnya. Pada gambar tersebut, panel transformator ialah kotak yang berwarna kuning.



Gambar 3. 4 Transformator dan panel transformator

Pemasangan alat HIOKI 3196 dilakukan pada saluran fasa yang terdapat didalam kotak tersebut. Probe tegangan dipasang pada saluran R, S dan T. clamp arus dipasang pada mengitari saluran fasa masing-masing fasa. Gambar 3.5 merupakan gambar saat pengukuran dilakukan. Dari gambar tersebut dapat dilihat 3 clamp arus berwarna biru yang mengitari saluran fasa yang digunakan untuk mengukur arus tiap fasanya. Selain itu, juga terdapat probe tegangan yang digunakan untuk mengukur tegangan tiap fasanya. Perpaduan probe tegangan dan clamp arus dapat menghasilkan nilai daya dan nilai-nilai lain yang berhubungan dengan *power quality*.



Gambar 3. 5 Pengambilan sampel arus pada transformator daya

Data sampel arus yang diukur disimpan didalam memori HIOKI 3196. Setelah pengukuran selesai, dilakukan pemindahan data ke laptop. Sebelum data dipindahkan, laptop juga harus terlebih dahulu diinstal dengan software HIOKI. Selanjutnya dengan software tersebut, didapatkan data sampel arus yang dibutuhkan untuk penelitian ini. Dari pengolahan data menggunakan software HIOKI, banyak parameter yang dapat ditampilkan. Parameter-parameter tersebut ialah nilai arus nominal tiap fasa, tegangan, harmonik arus, harmonik tegangan dan masih banyak nilai power quality yang lain. Gambar tampilan software dapat dilihat pada bagian lampiran.

3.4. Pengambilan Data Temperatur Transformator

Pengambilan data temperatur transformator menggunakan kamera *thermal* inframerah. Pengambilan gambar dilakukan dengan cara mengarahkan kamera *thermal* kearah transformator daya. Pada saat pengambilan gambar, terlihat temperatur dari spot yang terdapat pada transformator tersebut. Dari gambar tersebut dapat dilihat persebaran temperatur dari transformator. Pada sisi kanan gambar tersebut terdapat keterangan warna pada gambar yang merepresentasikan temperatur transformator. Semakin terang warna sebuah spot pada transformator, semakin tinggi temperatur transformator tersebut.

Gambar hasil kamera thermal FLIR T250 dapat dilihat pada halaman lampiran. Keterangan warna hasil kamera ini terdapat pada

gambar bagian kanan. Terdapat skala maksimal dan minimal pada gambar hasil kamera ini. Nilai maksimal menandakan bahwa temperatur maksimal dari gambar tersebut ialah nilai tersebut dan biasanya terletak pada transformator. Skala maksimal tersebut juga ditandai dengan warna yang paling terang pada gambar tersebut. Skala temperatur tersebut dapat berubah-ubah sesuai dengan temperatur dari objek yang diteliti.

Pada gambar hasil kamera FLIR T250 juga terdapat temperatur spot yang berarti temperatur pada titik yang ditunjuk oleh kursor pada gambar tersebut. Temperatur spot ini dapat berubah sesuai dengan spot yang ditunjuk pada gambar. Temperatur spot ini berguna untuk mengetahui temperatur pada spot tertentu agar pembacaan dapat lebih akurat dibandingkan dengan hanya membandingkan warna dengan skala yang ada pada gambar. Pada hasil gambar hasil kamera tersebut, suhu yang digunakan sebagai suhu transformator ialah suhu skala maksimal.

Kamera yang digunakan selain FLIR T250 ialah Fluke Ti125. Contoh hasil dari kamera *thermal* Fluke Ti125 ialah gambar 3.6. Dari gambar tersebut dapat diketahui temperatur dari objek yang kita ambil. Kita dapat mengarahkan titik pada kamera untuk mengetahui temperatur pada suatu titik tertentu. Selain temperatur titik tersebut, juga dapat diketahui temperatur tertinggi dan terendah dari gambar yang tertera pada kamera. Nilai temperatur tertinggi pada gambar tersebut diwakili dengan HI sedangkan nilai temperatur terendah diwakili dengan LO. Selanjutnya nilai HI inilah yang kita ambil untuk mewakili temperatur transformator.

3.4.1 Setting Kamera Inframerah

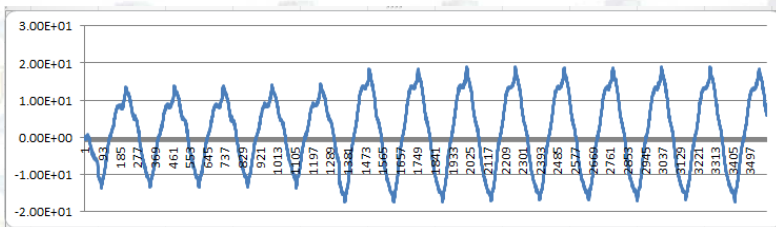
Untuk mendapat hasil yang baik, sebelum digunakan kamera Inframerah disetting terlebih dahulu. Berikut ialah settingan yang dibuat terhadap kamera inframerah :

1. *Emmissivity*, setting ini digunakan untuk mengatur tingkat penyerapan oleh bahan objek yang akan diambil gambarnya
2. *Reflected temperature*, setting ini digunakan untuk mengatur perkiraan suhu pantulan dari objek
3. *Distance*, setting ini digunakan untuk mengukur jarak ambil kamera dan objek. Pengaturan *distance* berguna untuk melihat tingkat presisi dari kamera inframerah
4. *Atmospheric temperature*, setting ini digunakan untuk mengatur suhu sekitar dari kamera inframerah

5. *Relative humidity*, setting ini digunakan untuk mengatur tingkat kelembapan dari lingkungan objek yang akan diukur

3.5 Pengolahan Data Sampel Arus

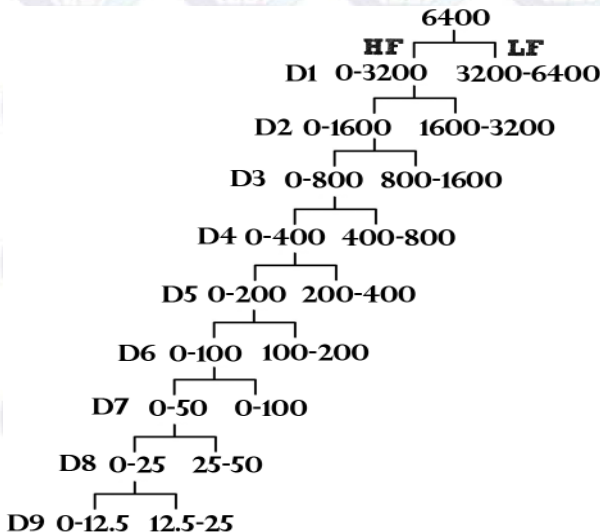
Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai cara pengolahan data sampel arus. Data sampel arus yang telah didapat ialah data gelombang arus. Gelombang arus tersebut ialah gelombang arus yang telah terdistorsi oleh harmonik yang muncul pada sistem tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan analisis ketiga fasa yang ada pada transformator



frequency berikutnya dengan *range* frekuensi yang lebih kecil. Proses ini dilakukan sampai 9 tahap hingga mendapat *range* frekuensi yang akan dianalisis.

3.5.1 Wavelet dan *Power Spectral Density* (PSD)

Pada penelitian ini, digunakan metode *discrete wavelet transform* untuk memecah sinyal menjadi 2 klasifikasi sinyal, yakni frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Frekuensi rendah dinamakan approximation coefficient sedangkan frekuensi tinggi dinamakan detail coefficient. Hasil pemecahan sinyal yang pertama disebut dengan dekomposisi pertama (D1). Selanjutnya sinyal dengan frekuensi rendah dipecah lagi sehingga menghasilkan 2 klasifikasi sinyal dengan *range* frekuensi yang lebih rendah. Dekomposisi ini dinamakan dekomposisi kedua (D2). Sinyal dengan frekuensi rendah dari hasil D2 ini selanjutnya dipecah lagi hingga menghasilkan 2 kelompok sinyal lagi. Begitu seterusnya hingga menghasilkan Dekomposisi kesembilan (D9). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan berikut.



Gambar 3. 7 Range frekuensi tiap level dekomposisi

Dari bagan diatas dapat dilihat bahwa proses dekomposisi yang pertama menggunakan wavelet membagi data menjadi 2 bagian yakni *low frequency* dan *high frequency*. *Low frequency* disebut dengan *approximation coefficient* sedangkan *high frequency* disebut *detail coefficient*. Pada dekomposisi ini, rentang frekuensi *approximation coefficient* ialah 0-3200Hz sedangkan rentang frekuensi *detail coefficient* ialah 3200-6400.

Untuk dekomposisi yang kedua, nilai *approximation coefficient* pada dekomposisi pertama dijadikan sebagai input. Hasil dari dekomposisi ini menghasilkan 2 range frekuensi yang lebih kecil yakni 0-1600 dan 1600-3200. Proses ini berlanjut hingga dekomposisi 9 yang menghasilkan range frekuensi 0-12.5 pada *low frequency* dan 12.5-50 pada *high frequency*.

Dari hasil pengolahan sinyal arus menggunakan wavelet, hasil sinyal yang diolah ialah data *detail frequency*. Data ini digunakan untuk menghitung energi dan *PSD* pada range frequency yang diambil. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa frekuensi fundamental terletak pada dekomposisi kedelapan. Hal ini juga dibuktikan dengan nilai *PSD* yang sangat besar pada dekomposisi tersebut.



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN HASIL ANALISIS

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai data-data yang digunakan dalam penelitian ini. Salah satu data yang digunakan dalam penelitian ini ialah gelombang arus hasil *sampling* menggunakan alat power quality analyzer. Power quality analyzer yang digunakan ialah tipe Hioki 3196. Selain gelombang arus, data kedua yang digunakan dalam penelitian ini ialah hasil foto menggunakan *thermal imaging camera*. Dari gambar tersebut kita dapat mengetahui temperatur dari sebuah transformator. Dari penelitian ini, ternyata data temperatur yang didapat belum dapat digunakan sebagai data pendukung tambahan dalam menentukan penggolongan minyak transformator.

Gelombang arus yang didapat selanjutnya diolah menggunakan software matlab dengan metode wavelet meyer. Hasil dari *running wavelet* juga akan ditampilkan dalam bab ini. Selanjutnya hasil dari analisis arus berupa nilai *power spectral density* menghasilkan pengelompokan umur minyak transformator.

4.1 Data Arus Transformator

Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran terhadap 34 transformator. Transformator tersebut dibagi menjadi 2 bagian yakni 25 transformator yang digunakan untuk membuat pengelompokan nilai *power spectral density* dan 9 transformator yang digunakan sebagai transformator *testing*. Pada subbab ini akan dibahas mengenai 25 transformator yang digunakan untuk membuat pengelompokan nilai *PSD* sedangkan transformator testing akan dibahas pada subbab 4.5.

Transformator-transformator yang dijadikan objek penelitian pada tugas akhir ini memiliki umur yang beragam. Umur transformator yang diukur pada penelitian ini ialah transformator yang berumur 0 sampai lebih dari 5 tahun. Umur transformator tersebut mewakili umur minyak transformator tersebut. Selain umur, transformator juga dibagi kedalam 2 range arus yaitu range arus 0-100A dan 101-200A. Pada range arus 0-100 A terdapat 16 transformator dengan beberapa umur minyak transformator. Data arus transformator ini dapat dilihat pada tabel 4.1. Untuk transformator dengan range arus 101-200, Terdapat 9 buah transformator. Data arus transformator yang masuk kedalam range 101-200 A dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.1 Transformator dengan arus nominal 0-100A

Transformator dengan arus nominal 0-100A				
No	Nama	Fasa	Arus Nominal	Arus rata-rata
1	0-RT1	R	22.64	33.80
		S	37.11	
		T	41.64	
2	0-RT2	R	66	73.65
		S	75.4	
		T	79.56	
3	0-RT3	R	79.25	93.66
		S	79.44	
		T	122.28	
4	0-I1	R	2.35	3.38
		S	5.06	
		T	2.74	
5	0-S1	R	7.32	7.83
		S	11.29	
		T	4.88	
6	1-RT1	R	13.98	7.84
		S	4.02	
		T	5.51	
7	1-RT2	R	68.67	35.74
		S	21.44	
		T	17.12	
8	1-RT3	R	23.29	17.40
		S	13.55	
		T	15.35	
9	1-RT4	R	113.36	56.41
		S	28.61	
		T	27.26	
10	1-B1	R	62.39	50.95
		S	48.2	
		T	42.25	
11	1-I1	R	37.8	32.12
		S	28.9	
		T	29.65	
12	2-RT1	R	24.3	14.36
		S	11.59	
		T	7.2	
13	2-RT2	R	11.27	14.90
		S	25.73	
		T	7.7	
14	2-I1	R	1.47	3.53
		S	5.44	
		T	3.69	
15	2-I2	R	2.28	2.39

Transformator dengan arus nominal 0-100A				
16	3-RT1	S	3.38	84.64
		T	1.52	
		R	103.27	
		S	57.14	
		T	93.51	

Tabel 4.1 menampilkan daftar transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100 A. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai arus nominal transformator pada fasa R,S dan T serta arus rata-rata transformator tersebut. Arus rata-rata ialah hasil rata-rata arus dari fasa R,S dan T pada transformator. Arus rata-rata inilah yang digunakan dalam penentuan kelas transformator berdasarkan range arusnya. Dari tabel ini dapat dilihat terdapat 16 transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A.

Dari tabel tersebut dapat dilihat beberapa jenis transformator yakni 0-RT1, 0-I1, 0-S1 dan 1-B1. Transformator RT memiliki kepanjangan rumah tangga yang artinya transformator tersebut mensuplai jenis pelanggan rumah tangga. Transformator I memiliki kepanjangan Industri yang artinya transformator tersebut mensuplai jenis pelanggan Industri. Transformator S memiliki kepanjangan Sosial yang artinya transformator ini mensuplai jenis pelanggan sosial. Yang terakhir ialah B yang artinya transformator ini mensuplai jenis pelanggan bisnis. Jenis pelanggan ini merupakan penggolongan yang dibuat oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) untuk menggolongkan jenis pelanggannya.

Tabel 4.2 menampilkan daftar transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200 A. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai arus nominal transformator pada fasa R,S dan T serta arus rata-rata transformator tersebut. Arus rata-rata ialah hasil rata-rata arus dari fasa R,S dan T pada transformator. Arus rata-rata inilah yang digunakan dalam penentuan kelas transformator berdasarkan range arusnya. Dari tabel ini dapat dilihat terdapat 9 transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A.

Dari data tersebut dilihat bahwa mayoritas transformator yang memiliki range arus 101-200A ialah transformator dengan umur tinggi yakni 5 tahun sedangkan transformator 0-100A ialah transformator

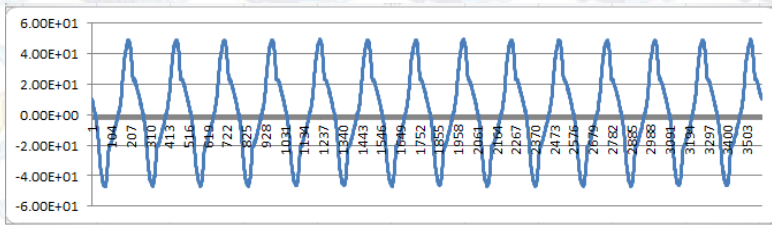
Tabel 4.2 Transformator dengan arus nominal 101-200A

Transformator dengan arus nominal 101-200A				
No	Nama	Fasa	Arus Nominal	Arus rata-rata
1	2-RT3	R	139.97	138.40
		S	99.63	
		T	175.61	
2	3-RT2	R	125.98	121.46
		S	140.15	
		T	118.24	
3	5-RT1	R	131.21	137.49
		S	106.58	
		T	174.67	
4	5-RT2	R	122.28	114.75
		S	100.48	
		T	121.5	
5	5-RT3	R	135.01	138.22
		S	131.74	
		T	147.9	
6	5-RT4	R	136.39	130.73
		S	141.24	
		T	114.57	
7	5-RT5	R	154.91	134.29
		S	125.95	
		T	122.01	
8	5-RT6	R	177.76	112.04
		S	107.17	
		T	112.04	
9	5-RT7	R	113.3	130.75
		S	130.91	
		T	148.05	

dengan umur yang relatif lebih rendah yakni 0,1 dan 2 tahun. Kondisi dilapangan menunjukkan bahwa semakin tinggi umur transformator, semakin besar beban yang harus disuplai transformator tersebut diakibatkan semakin lama transformator beroperasi semakin bertambah jumlah beban yang harus disuplai oleh sebuah transformator. Oleh karena itu, untuk range arus 101-200 hanya didapatkan 1 transformator yang berumur 2 tahun. Transformator lain yang masuk ke dalam range arus ini ialah transformator berumur 3 dan lebih dari 5 tahun.

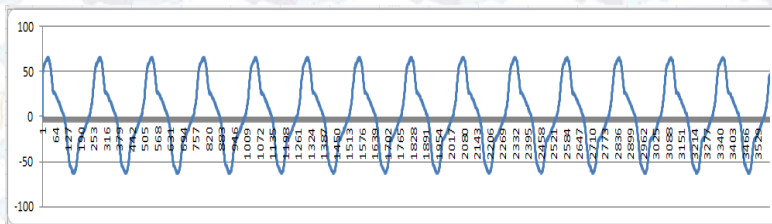
Dari kedua tabel diatas, dapat dilihat bahwa pengukuran arus yang dilakukan ialah pengukuran 3 fasa yakni pada fasa R,S dan T. Transformator yang dijadikan objek penelitian ini ialah transformator

daya step down 20 kV/380 V dengan kapasitas terpasang 100 kVA. Berikut ialah beberapa bentuk gelombang arus hasil *sampling* yang dilakukan pada transformator.



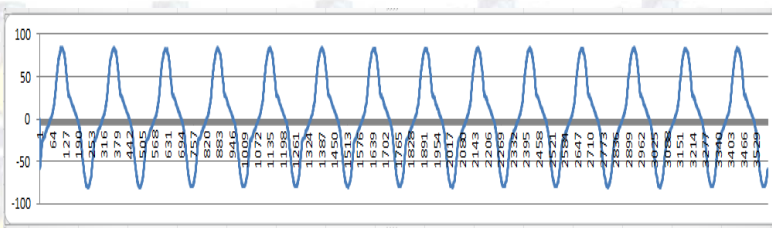
Gambar 4.1 Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa R

Gambar 4.1 ialah gambar gelombang arus hasil *sampling* menggunakan power quality analyzer HIOKI 3196. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh dari gelombang arus yang diambil dari transformator 0 tahun fasa R. Penamaan transformator tersebut pada penelitian ini ialah transformator 0-RT1. RT merupakan singkatan dari rumah tangga. Transformator ini masuk ke golongan transformator rumah tangga yang berarti menyuplai beban rumah tangga. Gelombang arus tersebut memiliki nilai maksimum arus sebesar 49.70 A sedangkan nilai minimum arus ialah sebesar -47.3 A. Dari hasil pengukuran terlihat nilai nominal arus transformator tersebut ialah 22.64 A.



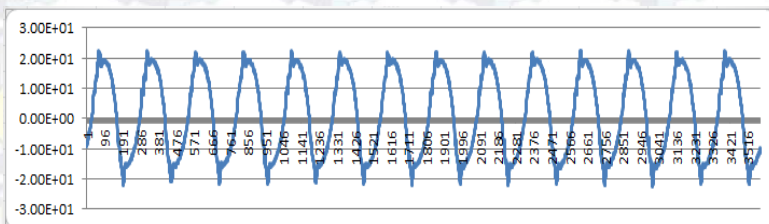
Gambar 4.2 Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa S

Gambar 4.2 ialah bentuk gelombang transformator 0-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 65.90 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -63.30 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 37.11 A



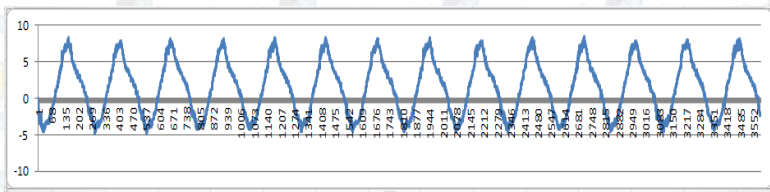
Gambar 4.3 Bentuk gelombang arus transformator 0-RT1 fasa T

Gambar 4.3 ialah bentuk gelombang transformator 0-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 84.20 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -80.50. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 41.46 A. Jika dirata-ratakan, nilai rata-rata arus dari transformator ini ialah 33.80 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 0-100A. Terdapat 5 transformator berumur 0 tahun pada penelitian ini. Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.



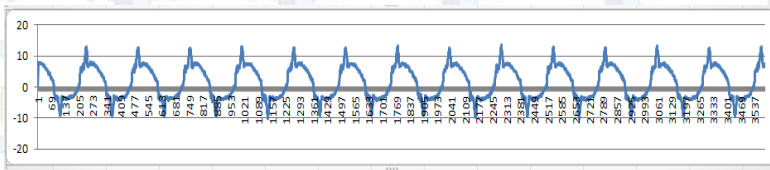
Gambar 4.4 Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 fasa R

Gambar 4.4 ialah gambar gelombang arus transformator bernama 1-RT1. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh transformator berumur 1 tahun. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 22.6 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -22.6 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 13.98 A



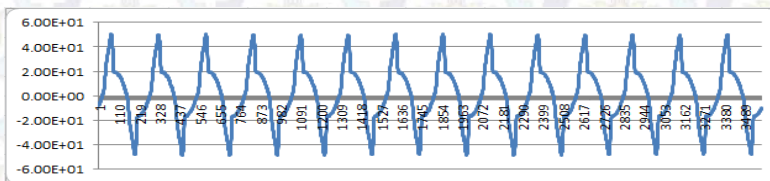
Gambar 4.5 Bentuk Gelombang arus transformator 1-RT1 fasa S

Gambar 4.5 ialah bentuk gelombang transformator 1-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 8.4 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah - 4.80 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 4.02 A

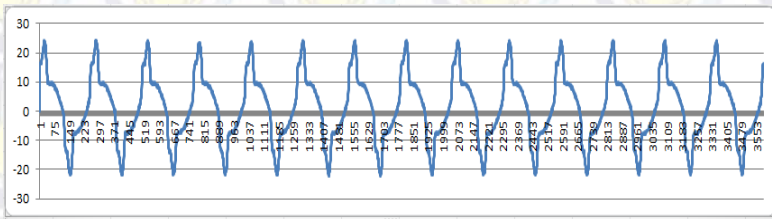


Gambar 4.6 Bentuk gelombang arus transformator 1-RT1 fasa T

Gambar 4.6 ialah bentuk gelombang transformator 1-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 13.70 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah - 10.20. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 5.51 A. Nilai rata – rata arus dari transformator ini ialah 7.84 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 0-100 A. Terdapat 6 transformator berumur 1 tahun pada penelitian ini. Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.

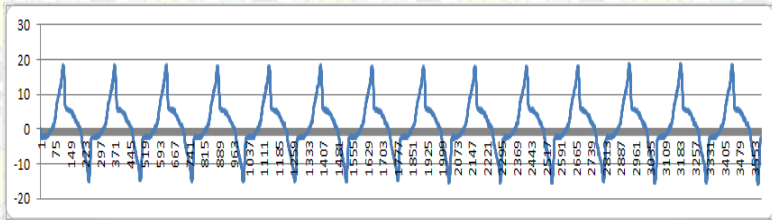


Gambar 4.7 ialah gambar gelombang arus transformator bernama 2-RT1 fasa R. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh transformator berumur 2 tahun. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 50.70 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -48.80. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 24.3 A



Gambar 4.8 Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa S

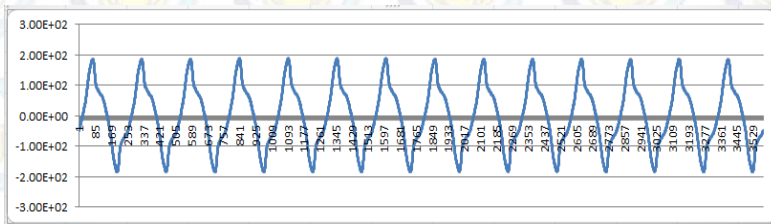
Gambar 4.8 ialah bentuk gelombang transformator 2-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 24.30 sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -22.30. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 11.59 A



Gambar 4.9 Bentuk gelombang arus transformator 2-RT1 fasa T

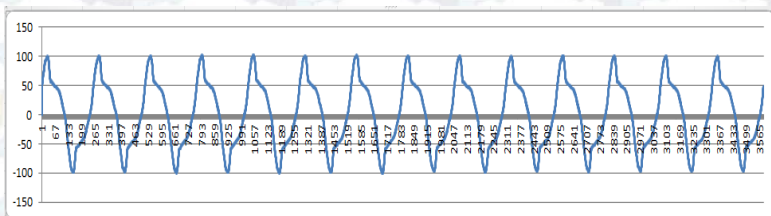
Gambar 4.9 ialah bentuk gelombang transformator 2-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 18.70 sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -15.90. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 7.2 A. Nilai rata – rata arus dari transformator ini ialah 14.36 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 0-100A. Terdapat 5 transformator berumur 2 tahun pada penelitian ini.

Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.



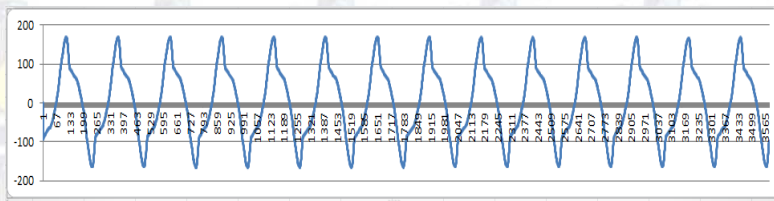
Gambar 4.10 Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa R

Gambar 4.10 ialah gambar gelombang arus transformator bernama 3-RT1. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh transformator berumur 3 tahun. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 188.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -186.00. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 103.27 A



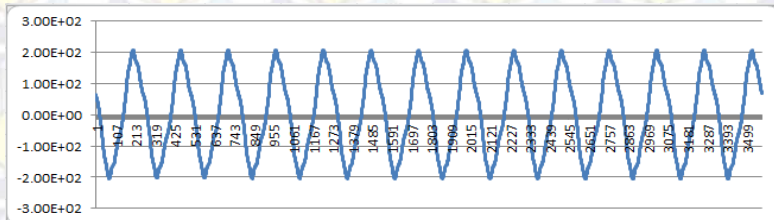
Gambar 4.11 Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa S

Gambar 4.11 ialah bentuk gelombang transformator 3-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 103.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -101.00. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 57.14 A



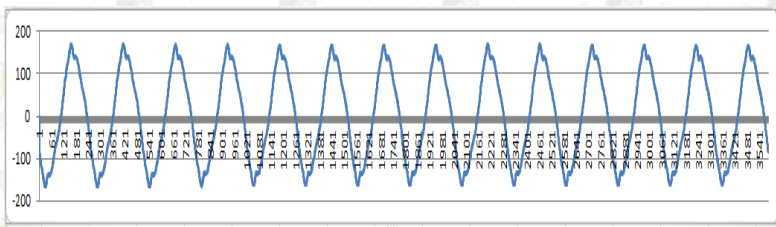
Gambar 4.12 Bentuk gelombang arus transformator 3-RT1 fasa T

Gambar 4.13 ialah bentuk gelombang transformator 3-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 170.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah 165.00 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 93.51 A. Nilai rata – rata arus dari transformator ini ialah 84.64 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 0-100A. Terdapat 2 transformator berumur 3 tahun pada penelitian ini. Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.



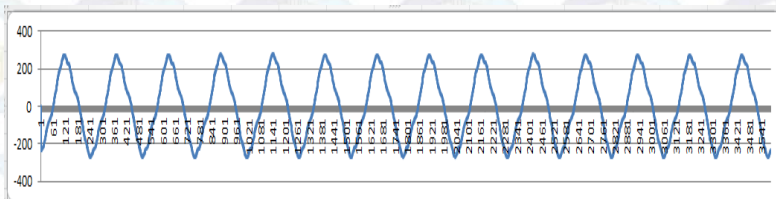
Gambar 4.13 Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa R

Gambar 4.13 ialah gambar gelombang arus transformator bernama 5-RT1 fasa R. Gelombang arus tersebut merupakan salah satu contoh transformator berumur 5 tahun. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 208.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -205.00 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 131.21 A.



Gambar 4.14 Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa S

Gambar 4.14 ialah bentuk gelombang transformator 5-RT1 fasa S. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 169 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -166 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 106.58 A



Gambar 4. 15 Bentuk gelombang arus transformator 5-RT1 fasa T

Gambar 4.15 ialah bentuk gelombang transformator 5-RT1 fasa T. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai maksimum arus transformator ialah 277.00 A sedangkan nilai minimum gelombang arus tersebut ialah -273.00 A. Dari pengukuran dapat dilihat bahwa nilai arus nominal transformator ini ialah 174.67 A. Nilai rata – rata arus dari transformator ini ialah 137.49 A. Nilai arus tersebut masuk ke pengelompokan range arus 101-200A. Terdapat 7 transformator berumur 5 tahun pada penelitian ini. Nilai arus nominal dan rata-rata masing-masing transformator dapat dilihat pada tabel 4.1.

4.2. Data Temperatur Transformator Daya

Pada subbab ini akan ditampilkan data temperatur dari setiap transformator. Data temperatur transformator diambil menggunakan kamera thermal. Terdapat 2 kamera thermal yang digunakan dalam

penelitian ini, yakni Thermal Imaging Flir T250 dan Fluke Thermal Imagers Ti125.

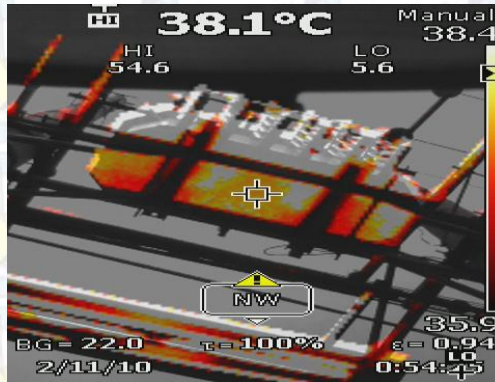
Gambar 4.16 merupakan gambar hasil kamera *thermal imaging* FLIR T250. Gambar tersebut merupakan gambar transformator 0-II. Temperatur spot pada gambar tersebut ialah 32.3 °C. Temperatur spot pada gambar tersebut ialah temperatur permukaan yang ditunjuk oleh pointer. Pada bagian kanan gambar terdapat range temperatur. Dari range temperatur tersebut didapatkan nilai maksimal sebesar 35.3 °C sedangkan nilai minimal temperatur 15.4°C. Range temperatur ini berubah-ubah sesuai dari temperatur objek yang diambil. Dikarenakan nilai maksimal range temperatur tersebut terletak pada transformator tersebut, maka disimpulkan nilai temperatur transformator hasil dari kamera ini ialah 35.3°C.

Gambar 4.17 merupakan gambar hasil kamera thermal imagers fluke Ti125. Gambar tersebut merupakan gambar thermal transformator 5-RT3. Dari gambar tersebut dapat dilihat nilai temperatur 38.1°C. Nilai temperatur ini ialah nilai temperatur yang ditunjukkan pointer pada gambar tersebut. Pointer tersebut mengarah ke bagian bawah transformator. Pada transformator tersebut terdapat nilai hi dan lo. Nilai hi adalah nilai temperatur tertinggi dari gambar tersebut sedangkan nilai



Gambar 4.16 Gambar hasil kamera *thermal imaging* FLIR T250 pada transformator 0-II

lo ialah nilai temperatur terendah yang ada pada gambar tersebut. Dari gambar tersebut, kita dapat mengetahui temperatur transformator ialah sebesar 54.6°C sekaligus menjadi nilai temperatur tertinggi pada gambar tersebut.



Gambar 4.17 Gambar hasil kamera thermal imagers Fluke Ti125 pada transformator 5-RT3

Tabel 4.3 ialah tabel yang menunjukkan temperatur dari setiap transformator. Temperatur transformator ialah nilai temperatur tertinggi pada masing-masing transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai temperatur tertinggi ialah nilai temperatur transformator 3-RT1 sebesar 65.6°C. Nilai temperatur terendah ialah nilai temperatur transformator 1-RT4 sebesar 30.9. Nilai temperatur dari masing-masing transformator belum memiliki pola sehingga belum bisa digunakan untuk menentukan kondisi sebuah transformator.

Tabel 4.3 Data temperatur transformator

No	Transformator	Arus nominal	Temperatur
1	0-RT1	33.80	33.8
2	0-RT2	73.65	41.9
3	0-RT3	93.66	45.3
4	0-I1	3.38	35.3
5	0-S1	7.83	36.2
6	1-RT1	7.84	67.9
7	1-RT2	35.74	33.1
8	1-RT3	17.40	31.9
9	1-RT4	56.41	30.9
10	1-B1	50.95	33.5
11	1-I1	32.12	32.9

No	Transformator	Arus nominal	Temperatur
12	2-RT1	14.36	44.4
13	2-RT2	14.90	32.3
14	2-I1	3.53	49
15	2-I2	2.39	47.8
16	3-RT1	84.64	65.6
17	2-RT3	138.40	57.5
18	3-RT2	161.46	69.5
19	5-RT1	137.49	43.9
20	5-RT2	114.75	43.6
21	5-RT3	158.22	54.6
22	5-RT4	190.73	40.9
23	5-RT5	144.29	32.3
24	5-RT6	132.32	47
25	5-RT7	130.75	43.3

4.3 Pengolahan Data Arus Menggunakan Wavelet

Pada subbab ini akan dibahas mengenai pengolahan data arus menggunakan wavelet meyer dengan menggunakan software MATLAB. Setiap sampel arus yang telah ditampilkan pada subbab 4.1 akan dipecah menjadi beberapa *range* frekuensi menggunakan wavelet.

Sampel arus yang telah *disampling* dipecah menjadi 9 dekomposisi sinyal. Setiap dekomposisi memiliki dua bagian, yakni *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. *Approximation coefficient* ialah sinyal berfrekuensi rendah jika dibandingkan dengan *detail coefficient* pada level dekomposisi yang sama.

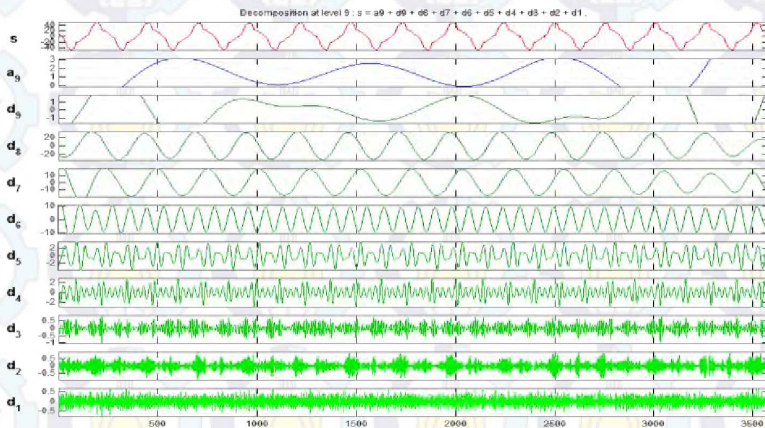
Pada dekomposisi pertama sinyal dibagi menjadi 2, yakni *approximation coefficient* dan *detail coefficient*. Pada level dekomposisi kedua, *approximation coefficient* pada level pertama dipakai untuk menghasilkan *approximation coefficient* dan *detail coefficient* pada level kedua. Begitu seterusnya hingga mencapai dekomposisi kesembilan dengan range frekuensi yang lebih kecil dan rendah.

Dari gambar dibawah ini dapat dilihat gambar hasil dekomposisi menggunakan wavelet dengan software MATLAB. Sampel arus yang diolah ialah sampel arus dari beberapa transformator berumur 0,1,2,3 dan 5 tahun. Dari gambar tersebut terlihat 10 gambar sinyal. Sinyal berlabel s ialah sinyal awal yang akan diolah. Sinyal berlabel ng

$d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9$ ialah *detail coefficient* atau sinyal hasil dekomposisi pada masing-masing level dekomposisi. Sedangkan sinyal a_9 ialah *approximation coefficient* pada level kesembilan sekaligus menjadi sinyal sisa dari beberapa dekomposisi yang telah dilakukan pada sampel arus.

Gambar 4.18 ialah hasil dekomposisi wavelet pada transformator berumur 0 tahun dengan nama transformator 0-RT1. Terdapat 10 gambar sinyal pada gambar tersebut. Sinyal s ialah gelombang sinyal asli hasil *sampling* arus. Gambar d_1 - d_9 merupakan nilai *detail coefficient* dari setiap level dekomposisi. Nilai a_9 merupakan *approximation coefficient* pada level dekomposisi kesembilan dari sinyal yang diolah.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin rendah dekomposisi semakin rapat sinyal tersebut. Pada gambar tersebut, gambar sinyal d_1 merupakan sinyal yang paling rapat dengan nilai amplitude relatif paling kecil. Dari gambar tersebut dapat dilihat amplitude sinyal d_1 ialah sekitar 0.5. Sedangkan sinyal yang memiliki amplitude yang paling besar ialah sinyal yang berada pada dekomposisi kedelapan. Hal ini dikarenakan sinyal fundamental berada pada level dekomposisi ini. Gambar 4.18 juga merepresentasikan gambar untuk dekomposisi wavelet pada transformator lain karena bentuk sinyal yang hampir sama dengan nilai amplitude yang berbeda. Nilai amplitude tersebut diolah menjadi nilai *PSD* yang dapat dilihat pada subbab 4.4.



Gambar 4.18 Hasil dekomposisi wavelet pada transformator 0-RT1

Pada penelitian ini, nilai d1 merupakan nilai dekomposisi yang akan menjadi acuan penelitian dikarenakan nilai d1 merupakan nilai dekomposisi yang tidak merepresentasikan fungsi arus dimana kenaikan arus tidak berbanding lurus dengan kenaikan *PSD*. Dekomposisi ini juga dapat digunakan untuk mempolakan umur minyak transformator dibandingkan dengan dekomposisi yang lain. Pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan dekomposisinya dapat dilihat subbab 4.4

4.4 Analisa *Power Spectral Density*

Power Spectral Density ialah kerapatan energi pada suatu range tertentu. Pada penelitian ini, *power spectral density* digunakan untuk menganalisis kualitas umur minyak transformator. Nilai ini didapat dari hasil pengolahan nilai gelombang arus menggunakan wavelet. Wavelet digunakan untuk memecah sinyal menjadi beberapa range frekuensi. Dari hasil pemecahan sinyal tersebut didapatkan nilai energi. Nilai energi dibagi dengan nilai range frekuensi tertinggi menghasilkan nilai *power spectral density (PSD)*.

Pada penelitian ini, terdapat 9 level dekomposisi. Setiap nilai detail coefficient pada setiap level dekomposisi menghasilkan nilai *PSD*. Nilai *PSD* tersebut mewakili nilai *PSD* pada setiap range frekuensi. Nilai *PSD* pada detail1 (d1) mewakili range frekuensi 3200-6400 Hz, nilai *PSD* pada detail2 (d2) mewakili range frekuensi 1600-3200 Hz, nilai *PSD* pada detail3 (d3) mewakili range frekuensi 800-1600 Hz, nilai *PSD* pada detail4 (d4) mewakili range frekuensi 400-800 Hz, nilai *PSD* pada detail5 (d5) mewakili range frekuensi 200-400 Hz, nilai *PSD* detail6 (d6) mewakili range frekuensi 100-200, nilai *PSD* detail7 (d7) mewakili range frekuensi 50-100, nilai *PSD* detail8 (d8) mewakili range frekuensi 25-50 Hz, serta yang terakhir ialah nilai *PSD* detail9 (d9) mewakili range frekuensi 12.5-25 Hz. Berikut ini ialah tabel 4.4 yang menunjukkan range frekuensi tiap dekomposisi.

Tabel 4.4 Range frekuensi tiap dekomposisi

Dekomposisi	Range Frekuensi
Dekomposisi 1	3200-6400
Dekomposisi 2	1600-3200
Dekomposisi 3	800-1600
Dekomposisi 4	400-800
Dekomposisi 5	200-400

Dekomposisi	Range Frekuensi
Dekomposisi 6	100-200
Dekomposisi 7	50-100
Dekomposisi 8	25-50
Dekomposisi 9	12.5-25

4.4.1 Data Energi dan *Power Spectral Density*

Pada penelitian ini, pengambilan *sampling* arus transformator dilakukan terhadap 3 fasa. Oleh karena itu, dari sebuah transformator didapat 3 gelombang arus hasil *sampling*. Gelombang arus hasil *sampling* ini kemudian diolah menggunakan wavelet meyer. Dari pengolahan ini dihasilkan nilai energi. Nilai energi dibagi dengan range nilai tertinggi dari range frekuensi tersebut menghasilkan nilai *PSD*. Dari setiap transformator menghasilkan 3 nilai *PSD*. Nilai *PSD* tersebut dirata-rata sehingga didapat nilai *PSD* dari setiap transformator.

Tabel 4.5 dan 4.6 ialah tabel yang menunjukkan nilai energi dan *power spectral density* pada transformator berumur 0 tahun. Pada penelitian ini terdapat 4 transformator berumur 0 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 0 tahun. Dari nilai *power spectral density* tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0151, 0.0221, 0.0226, 0.0135 dan 0.0196 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 0 tahun. Nilai *PSD* tersebut adalah nilai yang digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator

Tabel 4.7 dan tabel 4.8 ialah tabel yang menunjukkan nilai *power spectral density* pada transformator berumur 1 tahun. Pada penelitian ini terdapat 6 transformator berumur 1 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 1 tahun. Dari nilai *power spectral density* tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0169, 0.0188, 0.0185, 0.0171, 0.0239 dan 0.0203 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 1 tahun. Nilai *PSD* tersebut adalah nilai yang digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator.

Tabel 4.9 dan tabel 4.10 ialah tabel yang menunjukkan nilai energi dan *power spectral density* pada transformator berumur 2 tahun. Pada penelitian ini terdapat 5 transformator berumur 2 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 2 tahun. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0160, 0.0159, 0.0133, 0.0209 dan 0.0293 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 2 tahun.

Tabel 4.11 dan tabel 4.12 ialah tabel yang menunjukkan nilai energi dan *power spectral density* pada transformator berumur 3 tahun. Pada penelitian ini terdapat 2 transformator berumur 3 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 3 tahun. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0242 dan 0.0307 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 3 tahun.

Tabel 4.13 dan tabel 4.14 ialah tabel yang menunjukkan nilai *power spectral density* pada transformator berumur 5 tahun. Pada penelitian ini terdapat 7 transformator berumur 5 tahun. Nilai energi dan *power spectral density* ini merupakan nilai yang telah didapat dari rata-rata energi dan rata-rata *power spectral density* tiap fasa pada transformator 5 tahun. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil ialah berada pada dekomposisi pertama. Nilai-nilai *PSD* pada dekomposisi pertama ialah 0.0410, 0.0357, 0.0333, 0.0353, 0.0303, 0.0344 dan 0.0614 untuk masing-masing transformator pada kelompok umur 5 tahun.

Tabel 4.5 Nilai energi transformator 0 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	0-RT1	96.46262	433.5481	700.4455	12885.5	125163.5	1148231	3112827	2134122	253676.7
2	0-RT2	141.3465	522.6686	3240.81	98141.67	623407.8	4701349	10077599	8731643	910067.9
3	0-RT3	144.5224	440.1838	4773.802	106430.2	934672.2	5992243	19816996	12794178	1589598
4	0-II	86.43597	53.76894	27.4399	48.7474	267.7538	11048.95	13405.76	23706.15	1649.69
5	0-S1	125.4057	226.5229	1516.03	1272.874	6672.486	63140.4	125525.9	114178.3	10462.57

Tabel 4.6 Nilai PSD transformator 0 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	0-RT1	0.0151	0.135	0.438	16.107	312.909	5741.154	31128.271	42682.436	10147.070
2	0-RT2	0.0221	0.163	2.026	122.677	1558.519	23506.745	100775.989	174632.861	36402.715
3	0-RT3	0.0226	0.138	2.984	133.038	2336.680	29961.216	198169.961	255883.551	63583.905
4	0-II	0.0135	0.017	0.017	0.061	0.669	55.245	134.058	474.123	65.988
5	0-S1	0.0196	0.071	0.948	1.591	16.681	315.702	1255.259	2283.566	418.503

Tabel 4.7 Nilai energi transformator 1 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	1-RT1	108.0634	246.1903	406.1546	1818.465	3486.43	61331.7	181916.3	101002.6	10978.25
2	1-RT2	120.429	165.2996	1884.047	69501.47	202569.8	2099332	2492952	3738798	242122.1
3	1-RT3	118.0998	95.14479	745.9068	14645.2	50022.65	265430.7	623249.8	482242.7	47532.1
4	1-RT4	109.4488	370.5928	5480.776	87360.97	441814.7	6322628	5980964	10264152	634928.5
5	1-B1	152.74	238.6332	3202.52	60977.09	227743.1	2119073	4788543	4602298	413860.4
6	1-II	129.8477	65.47606	198.0274	1400.891	20235.29	739041.2	1841842	2056424	165818.7

Tabel 4.8 Nilai PSD transformator 1 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	1-RT1	0.0169	0.077	0.254	2.273	8.716	306.659	1819.163	2020.051	439.130
2	1-RT2	0.0188	0.052	1.178	86.877	506.425	10496.658	24929.517	74775.966	9684.883
3	1-RT3	0.0185	0.030	0.466	18.307	125.057	1327.154	6232.498	9644.854	1901.284
4	1-RT4	0.0171	0.116	3.425	109.201	1104.537	31613.139	59809.635	205283.039	25397.140
5	1-B1	0.0239	0.075	2.002	76.221	569.358	10595.364	47885.428	92045.964	16554.417
6	1-II	0.0203	0.020	0.124	1.751	50.588	3695.206	18418.421	41128.474	6632.750

Tabel 4.9 Nilai energi transformator 2 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	2-RT1	102.0933	97.1152	762.9356	11565.95	46113	318468.4	294066	535042.6	33559.8
2	2-RT2	101.7204	127.0461	1070.497	6281.542	25065.61	173809.6	245469.4	718158.6	38406.05
3	2-I1	85.06345	61.05323	90.70186	109.6277	402.8392	6318.853	20689.31	28278.61	2371.982
4	2-I2	133.7366	66.95806	55.56489	211.4781	338.7856	4488.312	4560.769	9748.615	645.6516
5	2-RT3	187.50065	1057.191	6274.434	149721.7	1620594	17862162	43345816.27	27143433	3288592

Tabel 4.10 Nilai PSD transformator 2 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	2-RT1	0.0160	0.0303	0.4768	14.4574	115.2825	1592.3419	2940.6601	10700.8519	1342.3921
2	2-RT2	0.0159	0.0397	0.6691	7.8519	62.6640	869.0478	2454.6937	14363.1729	1536.2419
3	2-I1	0.0133	0.0191	0.0567	0.1370	1.0071	31.5943	206.8931	565.5722	94.8793
4	2-I2	0.0209	0.0209	0.0347	0.2643	0.8470	22.4416	45.6077	194.9723	25.8261
5	2-RT3	0.0293	0.3304	3.9215	187.1521	4051.4851	89310.8091	433458.1627	542868.6621	131543.6750

Tabel 4.11 Nilai energi transformator 3 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	3-RT1	154.7672	193.6706	4318.684	83414.63	706871.8	6238158	14182957	12276501	1170091
2	3-RT2	196.5505	266.5924	5177.963	119324.9	1724107	23258455	50403505	54223588	4678880

Tabel 4.12 Nilai PSD transformator 3 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	3-RT1	0.0242	0.0605	2.6992	104.2683	1767.1794	31190.7897	141829.5708	245530.0257	46803.6370
2	3-RT2	0.0307	0.0833	3.2362	149.1561	4310.2670	116292.2743	504035.0534	1084471.7502	187155.2030

Tabel 4.13 Nilai energi transformator berumur 5 tahun

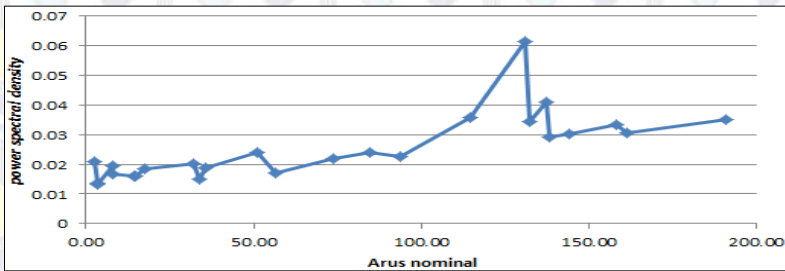
No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	5-RT1	262.0924	274.9631	2329.321	75981.58	436546	14872161	44687164	28506706	3203906
2	5-RT2	228.7921	195.2673	4340.304	90470.01	539784.2	10361940	24579504	23978181	2101420
3	5-RT3	213.4016	257.6041	2224.675	40139.63	618551	19441751	48399584	44396618	3962053
4	5-RT4	225.6237	377.9078	7675.277	244202.3	1723919	28766109	57764601	75069248	5787644
5	5-RT5	194.0928	210.2675	2240.844	38696.6	489416.7	15942855	38314566	39552065	3315990
6	5-RT6	220.1137	411.8809	1980.457	32951.81	444398.3	16368346	29117146	39133452	2824762
7	5-RT7	393.0379	224.6225	4361.128	57642.41	506575.1	11436789	33902049	30384670	2868006

Tabel 4.14 Nilai PSD transformator berumur 5 tahun

No	Transformator	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9
1	5-RT1	0.0410	0.0859	1.4558	94.9770	1091.3650	74360.8034	446871.6414	570134.1135	128156.2539
2	5-RT2	0.0357	0.0610	2.7127	113.0875	1349.4606	51809.6992	245795.0412	479563.6275	84056.7828
3	5-RT3	0.0333	0.0805	1.3904	50.1745	1546.3775	97208.7551	483995.8373	887932.3549	158482.1368
4	5-RT4	0.0353	0.1181	4.7970	305.2529	4309.7986	143830.5446	577646.0148	1501384.9603	231505.7598
5	5-RT5	0.0303	0.0657	1.4005	48.3707	1223.5418	79714.2748	383145.6591	791041.3098	132639.6026
6	5-RT6	0.0344	0.1287	1.2378	41.1898	1110.9958	81841.7302	291171.4582	782669.0455	112990.4627
7	5-RT7	0.0614	0.0702	2.7257	72.0530	1266.4379	57183.9451	339020.4878	607693.4028	114720.2260

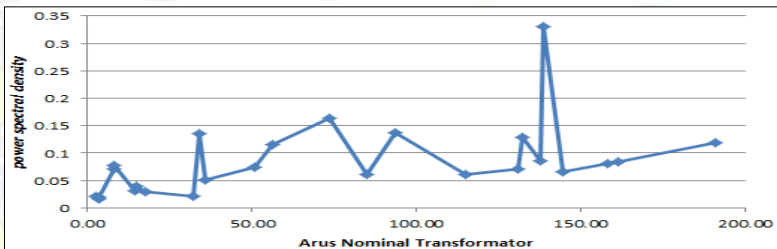
4.4.2 Penentuan Pola Power Spectral Denstiy

Setelah didapatkan nilai *PSD* dari setiap transformator disetiap level dekomposisi, selanjutnya dilakukan pengurutan transformator berdasarkan nilai arus nominal dari setiap level dekomposisi. Pengurutan tersebut membentuk pola hubungan antara arus transformator dengan nilai *PSD* dari transformator tersebut. Hasil terbaik yang akan dipilih ialah grafik yang tidak menunjukkan adanya fungsi arus. Fungsi arus yang dimaksud ialah nilai berbanding lurus antara arus dan *PSD*. Fungsi arus dihindari agar nilai *PSD* yang didapat bukan berasal dari nilai arus nominal dari sebuah transformator.



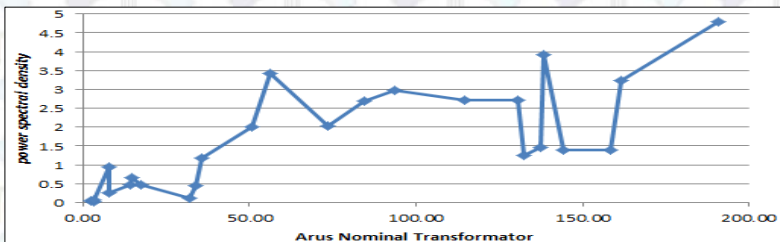
Gambar 4.19 Hubungan arus dan *PSD* d1

Gambar 4.19 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d1. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.0132 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 0.0614. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi pertama ini memiliki nilai yang tidak berbanding lurus sehingga baik digunakan untuk membuat pola pengelompokan umur transformator



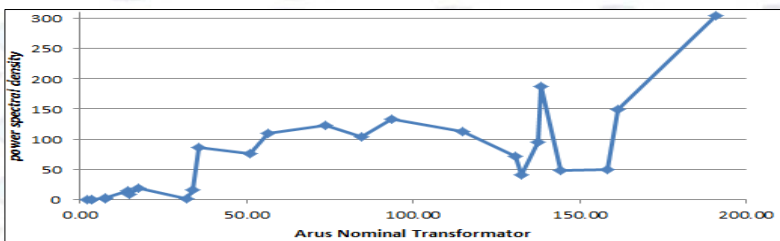
Gambar 4.20 Hubungan arus dan *PSD* d2

Gambar 4.20 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d2. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.0168 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 0.3303. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki nilai yang tidak berbanding lurus. Kekurangan dari hasil d2 ini ialah nilai *PSD* range arus 101-200 hampir sama dengan nilai *PSD* range arus 0-100A sehingga tidak baik digunakan sebagai acuan untuk membuat pengelompokan nilai *PSD*.



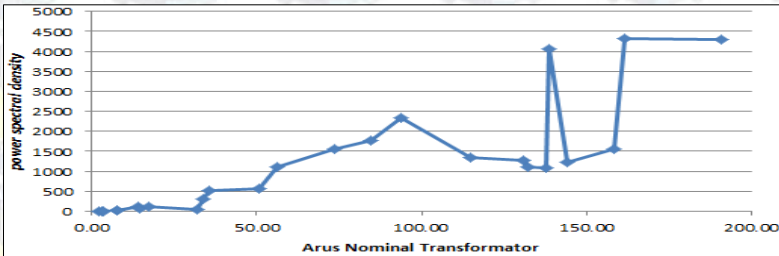
Gambar 4.21 Hubungan arus dan *PSD* d3

Gambar 4.21 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d3. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.0172 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 4.7974. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi ketiga ini memiliki kekurangan untuk dijadikan pola penentuan umur minyak transformator. Pola yang dimaksud ialah grafik ini memiliki trend naik seiring dengan kenaikan nilai arus sehingga tidak baik digunakan sebagai pola pengelompokan umur minyak transformator.



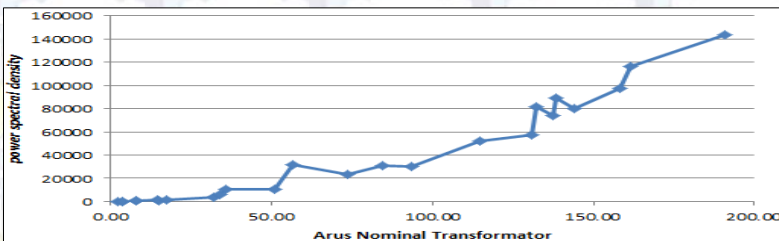
Gambar 4.22 Hubungan arus dan *PSD* d4

Gambar 4.22 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d4. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.0609 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 304.25. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki nilai yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator.



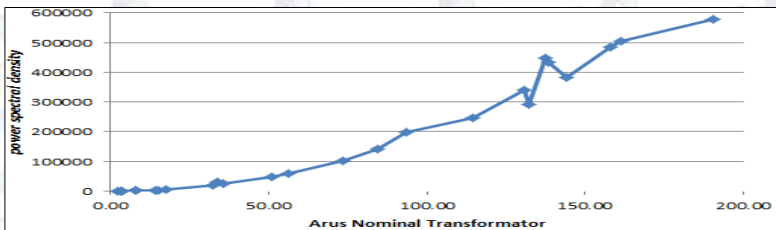
Gambar 4.23 Hubungan arus dan *PSD* d5

Gambar 4.23 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d5. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 0.6693 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 4310.267. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki trend yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator. Selain itu juga terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai terkecil dan terbesar *PSD* pada dekomposisi ini.



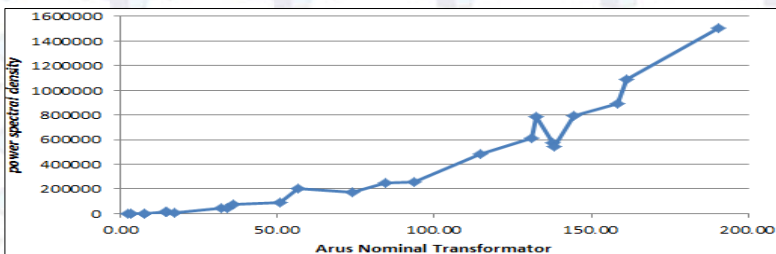
Gambar 4.24 Hubungan arus dan *PSD* d6

Gambar 4.24 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d6. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 22.4416 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 143830.5. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki trend yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator. Selain itu juga terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai terkecil dan terbesar *PSD* pada dekomposisi ini.



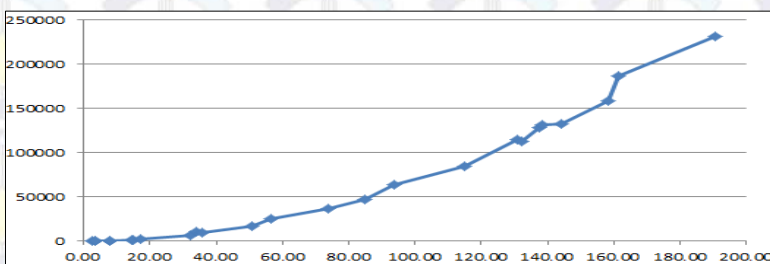
Gambar 4.25 Hubungan arus dan *PSD* d7

Gambar 4.25 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d7. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 45.6077 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 577646. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki trend yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator. Selain itu juga terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai terkecil dan terbesar *PSD* pada dekomposisi ini.



Gambar 4.26 Hubungan arus dan *PSD* d8

Gambar 4.26 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d8. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 194.9723 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 1501385. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kedua ini memiliki trend yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator. Pada level dekomposisi ini juga terdapat frekuensi fundamental sehingga menjadi dekomposisi yang paling dihindari untuk dijadikan pola umur minyak transformator



Gambar 4.27 Hubungan arus dan *PSD* d9

Gambar 4.26 merupakan grafik hubungan antara nilai arus dan nilai *PSD* d9. Sumbu vertikal merupakan nilai *PSD* sedangkan sumbu horisontal merupakan nilai arus nominal. Dari gambar dapat dilihat nilai *PSD* terkecil ialah 25.8260 sedangkan nilai *PSD* terbesar ialah 231505. Hubungan arus dan *PSD* hasil dekomposisi kesembilan memiliki hubungan yang berbanding lurus sehingga tidak dapat digunakan sebagai pola dalam pengelompokan umur minyak transformator.

Dari kesembilan grafik hubungan antara arus dan *PSD*, hasil terbaik yang dipilih ialah hasil dekomposisi pertama pada gambar 4.19. Grafik tersebut tidak menunjukkan adanya fungsi arus sehingga dapat dijadikan acuan untuk pengelompokan umur transformator berdasarkan nilai *PSD*. Selain itu, hasil dekomposisi pertama juga tidak memiliki perbedaan yang sangat jauh antara nilai terkecil dan terbesar sehingga cukup baik untuk dijadikan acuan.

4.4.2.1 Pengelompokan menggunakan 6 kelas umur

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.15 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator menggunakan 6 kelas umur, yakni umur 0 tahun, 1 tahun, 2 tahun, 3 tahun, 4 tahun dan 5 tahun.

Tabel 4.15 Nilai *PSD* transformator range arus 0-100A berdasarkan pengurutan nilai d1

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	2-I1	3.53	0.0133
2	0-I1	3.38	0.0135
3	0-RT1	33.80	0.0151
4	2-RT2	14.90	0.0159
5	2-RT1	14.36	0.0160
6	1-RT1	7.84	0.0169
7	1-RT4	56.41	0.0171
8	1-RT3	17.40	0.0185
9	1-RT2	35.74	0.0188
10	0-S1	7.83	0.0196
11	1-I1	32.12	0.0203
12	2-I2	2.39	0.0209
13	0-RT2	73.65	0.0221
14	0-RT3	93.66	0.0226
15	1-B1	50.95	0.0239
16	3-RT1	84.64	0.0242

Tabel 4.15 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan , nama transformator, Inom, Energi d1 dan d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 16 transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-I1 dengan nilai *PSD* sebesar 0.0133. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0242 yang dimiliki oleh transformator berumur 3 tahun. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator. Namun, dalam pengurutan nilai *PSD* tersebut, ternyata masih ada transformator berumur rendah yang memiliki nilai *PSD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan transformator yang memiliki umur lebih tinggi. Sebagai contoh transformator 2-RT2 urutan keempat dengan nilai *PSD* 0.0159 memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan transformator 0-RT2 pada urutan 13 dengan nilai

PSD 0.0221. Hal ini disebabkan karena nilai *PSD* transformator yang dikelompokkan per tahun masih memiliki nilai yang sangat dekat dan belum dapat dikelompokkan sepenuhnya. Oleh karena itu, hal yang akan dilakukan ialah membuat pengelompokan baru, yakni dengan menggunakan pengelompokan per dua tahun. 0 dan 1 tahun digabung menjadi kelas X, 2 dan 3 tahun digabung menjadi kelas Y, 4 dan 5 tahun digabung menjadi kelas Z. Pengelompokan ini disebut dengan pengelompokan 3 kelas umur.

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.16 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator.

Tabel 4.16 Nilai *PSD* transformator range arus 101-200 A berdasarkan pengurutan nilai d1

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	2-RT3	138.40	0.0293
2	5-RT5	144.29	0.0303
3	3-RT2	161.46	0.0307
4	5-RT3	158.22	0.0333
5	5-RT6	132.32	0.0344
6	5-RT4	190.73	0.0353
7	5-RT2	114.75	0.0357
8	5-RT1	137.49	0.0410
9	5-RT7	130.75	0.0614

Tabel 4.16 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan , nama transformator, Inom, Energi d1 dan d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 9 transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-RT3 dengan nilai *PSD* sebesar 0.0293. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0614 yang dimiliki oleh transformator bernama 5-RT7. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator. Namun, dalam pengurutan nilai *PSD* tersebut, ternyata masih ada transformator berumur rendah yang memiliki nilai *PSD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan transformator yang memiliki umur lebih tinggi. Sebagai contoh transformator 5-RT5 urutan kedua dengan nilai *PSD* 0.0303 memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan transformator 3-RT2 pada urutan ketiga dengan nilai *PSD*

0.0307. Hal ini disebabkan karena nilai *PSD* transformator yang dikelompokkan per tahun masih memiliki nilai yang sangat dekat dan belum dapat dikelompokkan sepenuhnya. Oleh karena itu, hal yang akan dilakukan ialah membuat pengelompokan baru, yakni dengan menggunakan pengelompokan per dua tahun. 0 dan 1 tahun digabung menjadi kelas X, 2 dan 3 tahun digabung menjadi kelas Y, 4 dan lebih dari 5 tahun digabung menjadi kelas Z.

4.4.2.2 Pengelompokan Menggunakan 3 Kelas Umur

Dikarenakan penggunaan 6 kelas umur belum mendapatkan hasil yang benar, pengelompokan menggunakan 3 kelas umur. Terdapat 3 kelas umur baru yang dibuat pada pengelompokan ini. Pengelompokan ini membagi 6 umur transformator menjadi 3 kelas. Kelas umur pertama ialah kelas umur X dengan umur transformator 0 dan 1 tahun. Kelas umur transformator yang kedua ialah kelas umur Y dengan umur minyak transformator 2 dan 3 tahun. Kelas umur yang terakhir ialah kelas umur Z yang mencakup minyak transformator berumur 4 dan lebih dari 5 tahun. Pengelompokan ini dapat dilihat pada tabel 4.17

Tabel 4.17 Pengelompokan umur transformator

No	Kelompok Umur	Nama kelas
1	3 kelas umur	Kelas Umur X (0 tahun dan 1 tahun)
		Kelas umur Y (2 tahun dan 3 tahun)
		Kelas umur Z (lebih dari 5 tahun)

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.18 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator menggunakan 3 kelas umur, yakni kelas umur X, kelas umur Y dan kelas umur Z

Tabel 4.18 Nilai *PSD* transformator range arus 0-100A berdasarkan pengurutan nilai d1 menggunakan 3 kelas umur

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	(Y) 2-II	3.53	0.0133
2	(X) 0-II	3.38	0.0135
3	(X) 0-RT1	33.80	0.0151
4	(Y) 2-RT2	14.90	0.0159
5	(Y) 2-RT1	14.36	0.0160

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
6	(X) 1-RT1	7.84	0.0169
7	(X) 1-RT4	56.41	0.0171
8	(X) 1-RT3	17.40	0.0185
9	(X) 1-RT2	35.74	0.0188
10	(X) 0-S1	7.83	0.0196
11	(X) 1-I1	32.12	0.0203
12	(Y) 2-I2	2.39	0.0209
13	(X) 0-RT2	73.65	0.0221
14	(X) 0-RT3	93.66	0.0226
15	(X) 1-B1	50.95	0.0239
16	(Y) 3-RT1	84.64	0.0242

Tabel 4.18 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan, nama transformator, Inom, Energi d1 dan *PSD* d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 16 transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-I1 yang masuk ke kelas umur Y dengan nilai *PSD* sebesar 0.0133. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0242 yang dimiliki oleh transformator bernama transformator 3-RT1 yang masuk ke kelas umur Y. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator.

Namun, dalam pengurutan nilai *PSD* tersebut, ternyata masih ada transformator berkelompok umur rendah yang memiliki nilai *PSD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan transformator yang memiliki kelompok umur lebih tinggi. Sebagai contoh transformator 2-I2 urutan kedua belas yang masuk ke kelas umur Y dengan nilai *PSD* 0.0209 memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan transformator 0-RT2 pada urutan 13 yang masuk ke kelas umur X dengan nilai *PSD* 0.0221. Ternyata, walaupun sudah di kelompokkan menggunakan 3 kelas umur, masih ada nilai-nilai *PSD* transformator yang sangat dekat dan belum dapat dikelompokkan sepenuhnya. Oleh karena itu, hal yang akan dilakukan ialah membuat pengelompokan baru, yakni dengan menggunakan pengelompokan per tiga tahun. 0,1 dan 2 tahun digabung menjadi kelas A sedangkan 3 dan lebih dari 5 tahun digabung menjadi kelas B. Pengelompokan ini disebut dengan pengelompokan 2 kelas umur.

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.19 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range

arus 101-200A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator.

Tabel 4.19 Nilai *PSD* transformator range arus 101-200 A berdasarkan pengurutan nilai d1 menggunakan 3 kelas umur

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	(Y) 2-RT3	138.40	0.0293
2	(Z) 5-RT5	144.29	0.0303
3	(Y) 3-RT2	161.46	0.0307
4	(Z) 5-RT3	158.22	0.0333
5	(Z) 5-RT6	132.32	0.0344
6	(Z) 5-RT4	190.73	0.0353
7	(Z) 5-RT2	114.75	0.0357
8	(Z) 5-RT1	137.49	0.0410
9	(Z) 5-RT7	130.75	0.0614

Tabel 4.19 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan, nama transformator, Inom, Energi d1 dan d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 9 transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-RT3 yang masuk ke kelas umur Y dengan nilai *PSD* sebesar 0.0293. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0614 yang dimiliki oleh transformator bernama 5-RT7 yang masuk ke kelas umur Y. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator. Namun, dalam pengurutan nilai *PSD* tersebut, ternyata masih ada transformator berumur rendah yang memiliki nilai *PSD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan transformator yang memiliki umur lebih tinggi. Sebagai contoh transformator 5-RT5 urutan kedua yang masuk ke kelas umur Z dengan nilai *PSD* 0.0307 memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan transformator 3-RT2 pada urutan ketiga dengan nilai *PSD* 0.0307 yang masuk ke kelas umur Y. Ternyata pengelompokan per dua tahun menggunakan 3 kelas umur belum menemukan hasil yang dapat dijadikan sebagai acuan pengelompokan *PSD* per kelompok umur. Hal ini disebabkan karena nilai *PSD* transformator yang dikelompokkan per dua tahun masih memiliki nilai yang sangat dekat. Oleh karena itu, hal yang akan dilakukan ialah membuat pengelompokan baru, yakni dengan menggunakan

pengelompokan per tiga tahun. 0,1 dan 2 tahun digabung menjadi kelas A sedangkan umur 3 dan lebih dari 5 tahun digabung menjadi kelas B.

4.4.2.3 Pengelompokan Menggunakan 2 Kelas Umur

Dikarenakan penggunaan 6 kelas umur dan 3 kelas umur belum mendapatkan hasil yang dapat digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator berdasarkan nilai *PSD*, dilakukan pengelompokan menggunakan 2 kelas umur. Terdapat 2 kelas umur baru yang dibuat pada pengelompokan ini. Pengelompokan ini membagi 6 umur transformator menjadi 2 kelas. Kelas umur pertama ialah kelas umur A dengan umur transformator 0,1 dan 2 tahun. Kelas umur transformator yang kedua ialah kelas umur B dengan umur minyak transformator 3 dan lebih dari 5 tahun. Pengelompokan ini dapat dilihat pada tabel 4.20

Tabel 4.20 Pengelompokan umur transformator

No	Kelompok Umur	Nama kelas
1	2 kelas umur	Kelas umur A (0, 1 dan 2 tahun)
		Kelas umur B (3 dan lebih dari 5 tahun)

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.21 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator menggunakan 3 kelas umur, yakni kelas umur X, kelas umur Y dan kelas umur Z

Tabel 4.21 Nilai *PSD* transformator range arus 0-100A berdasarkan pengurutan nilai d1 menggunakan 2 kelas umur

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	(A) 2-I1	3.53	0.0133
2	(A) 0-I1	3.38	0.0135
3	(A) 0-RT1	33.80	0.0151
4	(A) 2-RT2	14.90	0.0159
5	(A) 2-RT1	14.36	0.0160
6	(A) 1-RT1	7.84	0.0169
7	(A) 1-RT4	56.41	0.0171
8	(A) 1-RT3	17.40	0.0185
9	(A) 1-RT2	35.74	0.0188
10	(A) 0-S1	7.83	0.0196
11	(A) 1-I1	32.12	0.0203
12	(A) 2-I2	2.39	0.0209
13	(A) 0-RT2	73.65	0.0221

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
14	(A) 0-RT3	93.66	0.0226
15	(A) 1-B1	50.95	0.0239
16	(B) 3-RT1	84.64	0.0242

Tabel 4.21 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan , nama transformator, Inom, Energi d1 dan *PSD* d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 16 transformator yang masuk ke dalam range arus 0-100A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-I1 yang masuk ke kelas umur A dengan nilai *PSD* sebesar 0.0133. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0242 yang dimiliki oleh transformator bernama transformator 3-RT1 yang masuk ke kelas umur B. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator.

Dibandingkan dengan pengelompokan menggunakan 6 kelas umur dan 3 kelas umur, ternyata pengelompokan menggunakan 2 kelas umur menghasilkan nilai yang terbaik. Pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan nilai *PSD* dapat dilakukan. Kelompok umur A yang mencakup umur 0,1 dan 2 tahun memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok umur B yang mencakup umur 3 dan lebih dari 5 tahun.

Tabel dibawah ini ialah tabel 4.22 yang menjelaskan tentang nilai *PSD* d1 dari transformator-transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* d1 digunakan untuk membuat pengelompokan umur minyak transformator.

Tabel 4.22 Nilai *PSD* transformator range umur 101-200 A berdasarkan pengurutan Nilai d1 menggunakan 2 kelas umur

Urutan	Nama Transformator	Inom	<i>PSD</i> d1
1	(A) 2-RT3	138.40	0.0293
2	(B) 5-RT5	144.29	0.0303
3	(B) 3-RT2	161.46	0.0307
4	(B) 5-RT3	158.22	0.0333
5	(B) 5-RT6	132.32	0.0344
6	(B) 5-RT4	190.73	0.0353
7	(B) 5-RT2	114.75	0.0357
8	(B) 5-RT1	137.49	0.0410
9	(B) 5-RT7	130.75	0.0614

Tabel 4.22 terdiri dari 5 kolom, yakni kolom urutan, nama transformator, Inom, Energi d1 dan *PSD* d1. Tabel ini diurutkan berdasarkan nilai *PSD* d1 dari setiap transformator. Dari tabel tersebut dapat dilihat 9 transformator yang masuk ke dalam range arus 101-200A. Nilai *PSD* terkecil dimiliki oleh transformator bernama 2-RT3 yang masuk ke kelas umur A dengan nilai *PSD* sebesar 0.0293. Nilai *PSD* tertinggi ialah sebesar 0.0614 yang dimiliki oleh transformator bernama transformator 5-RT7 yang masuk ke kelas umur B. Nilai-nilai ini yang kemudian akan digunakan dalam penentuan nilai *PSD* berdasarkan umur minyak transformator.

Dibandingkan dengan pengelompokan menggunakan 6 kelas umur dan 3 kelas umur, ternyata pengelompokan menggunakan 2 kelas umur menghasilkan nilai yang terbaik. Pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan nilai *PSD* dapat dilakukan. Kelompok umur A yang mencakup umur 0,1 dan 2 tahun memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok umur B yang mencakup umur 3 dan lebih dari 5 tahun.

Dari hasil pengelompokan menggunakan 2 kelas umur seperti yang ditampilkan pada tabel 4.21 dan 4.22. Pengelompokan umur transformator berdasarkan nilai *PSD* dapat dilakukan. Hasil tersebut tidak menunjukkan adanya kelas umur yang tinggi mendahului kelas umur yang rendah. Kelas umur yang rendah memiliki nilai *PSD* yang lebih rendah dibandingkan kelas umur yang tinggi.

Dari tabel 4.21 dapat dilihat 2 kelas umur yang berbeda, yakni kelas umur A dan kelas B. Kelas umur A berada pada urutan 1 sampai 15. Kelas umur B berada pada urutan ke 16 dengan nilai *PSD* paling tinggi pada range arus 0-100A

Hampir sama dengan tabel 4.21, tabel 4.22 ialah pengelompokan transformator dengan range arus 101-200 A menggunakan 2 kelas umur. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa transformator yang masuk ke kelas umur A mempunyai nilai *PSD* dibawah transformator kelas umur B. Pengelompokan Transformator berdasarkan nilai *PSD* dapat dilihat pada subbab 4.5

4.5 Pengelompokan Umur Transformator Berdasarkan Nilai *PSD*

Dari pengolahan data arus dan temperatur transformator yang diteliti, ternyata yang memenuhi pola untuk dijadikan penarikan kesimpulan mengenai kualitas minyak transformator ialah data arus. Data arus diolah menggunakan wavelet meyer. Pengolahan ini

menghasilkan sinyal arus pada beberapa range frekuensi. Pada penelitian ini terdapat 9 range frekuensi. Setiap range frekuensi dinamakan dekomposisi. Pada setiap dekomposisi terdapat 2 bagian yakni detail dan approximation. Nilai detail coefficient diolah untuk mendapatkan nilai energi. Energi dibagi nilai frekuensi maksimum menghasilkan nilai *Power Spectral Density (PSD)*. Nilai energi dan *PSD* dikelompokkan sehingga menghasilkan pengelompokkan energi dan *PSD* untuk setiap umur transformator. Pengelompokan ini selanjutnya digunakan untuk menentukan kualitas umur minyak transformator yang nilai energi nya dan *PSD* nya sudah diketahui sebelumnya.

Pada penelitian ini, didapatkan pengelompokan energi dan *PSD* pada 2 range arus yang berbeda yakni 0-100 A, 101-200 A. Selain range arus, terdapat 2 pengelompokan umur yakni kelas A (0,1 dan 2 tahun) dan kelas B (3 dan lebih dari 5 tahun). Kedua kategori ini digabungkan sehingga membentuk sebuah pengelompokan untuk menentukan kualitas umur minyak transformator.

Dibawah ini ialah tabel pengelompokan umur minyak transformator berdasarkan nilai *PSD* menggunakan wavelet meyer yang dilakukan pada penelitian ini. Pada tabel 4.23 dapat dilihat bahwa tabel tersebut menjelaskan hubungan antara range arus, nilai *power spectral density* dan umur transformator. Pada tabel ini terdapat 2 kelompok range arus. Range arus yang dipakai pada penelitian ini ialah 0-100 A dan 101-200A. Dibawah range arus terdapat nilai *power spectral density* yang didapat dari hasil pengolahan menggunakan wavelet meyer. Nilai *PSD* pada kelas umur A dengan range arus 0-100A ialah sebesar 0-0.239 sedangkan Nilai *PSD* pada kelas umur A dengan range arus 101-200 A ialah 0-0.03919. Nilai ini didapatkan agar range *PSD* pada kelas umur A dan B menjadi sama. Nilai yang digunakan dalam perhitungan ini ialah nilai yang diambil dari pengurutan nilai *PSD* pada tabel 4.21 dan 4.22.

Tabel 4.23 Pengelompokan umur transformator berdasarkan range arus dan *power spectral density*

Kelas Umur	0-100 A	101-200 A
A	0-0.02399	0-0.0299
B	≥ 0.02340	≥ 0.0300

Dari kedua tabel diatas, dapat dijadikan acuan untuk mengetahui kualitas minyak dari sebuah transformator daya. Pada penelitian ini, kualitas minyak transformator ditentukan berdasarkan nilai *PSD* dari gelombang arus yang telah diolah sebelumnya. Pembacaan tabel 4.23 ialah diawali dengan mengetahui nilai arus dari sebuah transformator, Setelah nilai range arus transformator diketahui, carilah nilai *PSD* dari gelombang arus yang telah *disampling* sebelumnya. Setelah kedua nilai tersebut didapatkan, maka dapat diketahui kualitas minyak transformator tersebut. Hasil dari pembacaan tabel tersebut ialah pada kolom pertama dari kedua tabel tersebut. Kolom tersebut ialah kualitas transformator berdasarkan umur minyak transformator.

4.5.1 Monitoring Transformator Daya

Untuk menguji hasil dari penelitian ini, akan dilakukan *testing* sekaligus *monitoring* untuk mengetahui kelas umur minyak dari sebuah transformator berdasarkan nilai *PSD* dengan menggunakan parameter spektrum arus. *Testing* dilakukan pada terhadap 9 tranformator daya. Kesembilan transformator tersebut dapat dilihat pada tabel 4.24.

Dari tabel 4.24 dapat dilihat data kesembilan transformator yang akan diuji kualitas minyaknya. Tranformator tersebut ialah transformator yang pengukurannya lebih dari sekali. Transformator TU2-RT1,TU0-RT1, TU1-RT1, TU3-RT1,TU2-RT2 dan TU5-RT4 diukur pada pagi, siang dan malam hari. Sedangkan transformator TU5-RT1,TU5-RT2 dan TU5-RT3 diukur pada pagi dan siang hari. Transformator tersebut memiliki nilai range arus yang berbeda dari pagi

Tabel 4.24 Transformator *testing*

No.	Transformator	Waktu Pengukuran	Arus	Nilai <i>PSD</i>
1	TU2-RT1	Pagi	63.43	0.016399
		Siang	68.81	0.021314
		Malam	95.53	0.009969
2	TU5-RT1	Pagi	137.49	0.040952
		Siang	114.75	0.035749
3	TU5-RT2	Pagi	132.32	0.034393
		Siang	133.06	0.034067
4	TU0-RT1	Pagi	55.74	0.013832
		Siang	84.11	0.016375

No.	Transformator	Waktu Pengukuran	Arus	Nilai PSD
5	TU1-RT1	Malam	85.65	0.017049
		Pagi	57.69	0.016243
		Siang	84.14	0.016529
		Malam	92.44	0.018213
6	TU5-RT3	Pagi	122.58	0.035733
		Siang	132.14	0.035272
7	TU3-RT1	Pagi	74.01	0.017624
		Siang	94.11	0.019720
		Malam	140.58	0.017221
8	TU2-RT2	Pagi	69.41	0.016939
		Siang	66.25	0.019715
		Malam	109.53	0.017353
9	TU5-RT4	Pagi	130.12	0.033344
		Siang	140.02	0.035254
		Malam	125.98	0.030327

,siang dan malam hari. Sebagai contoh, TU7 memiliki arus 74.01 pada pagi hari dan 94.11 pada siang hari. Sedangkan pada malam hari memiliki arus nominal sebesar 109.53. Hal tersebut disebabkan pembebanan yang berbeda tiap jam pada sebuah transformator. Digit ketiga dalam penamaan transformator tersebut ialah umur aktual transformator tersebut.

```
RatarataPSD =
```

```
0.0245
```

```
Menentukan Umur Minyak Transformator berdasarkan pengelompokan yang telah dibuat
```

```
-----
```

```
Nilai Arus Nominal (Ampere) =50
```

```
Nilai PSD Wavelet (D1) =0.0245
```

```
ans =
```

```
Minyak Transformator masuk ke kelas umur A (0,1 dan 2 tahun) range arus 0-100A
```

```
>> |
```

Gambar 4.28 Tampilan program penentuan kelas umur

Untuk memudahkan dalam penentuan kelas umur transformator, dibuatlah sebuah program logika berdasarkan tabel 4.23. Gambar 4.28 merupakan tampilan dari program logika sederhana yang dibuat. Pada program tersebut, input yang diperlukan ialah nilai arus dan *PSD* dari sebuah transformator. Setelah data tersebut diinput, akan diketahui kelompok minyak transformator berdasarkan pengelompokan yang telah dibuat sebelumnya. Dari hasil tersebut dapat dilihat transformator yang diuji masuk ke kelas umur A. Hasil ini dapat digunakan sebagai *monitoring* awal terhadap minyak transformator.

Tabel 4.25 Hasil dari *testing* transformator

No.	Transformator	Waktu Pengukuran	Arus	Nilai <i>PSD</i>	Kelas Umur minyak
1	TU2-RT1	Pagi	63.43	0.016399	A
		Siang	68.81	0.021314	
		Malam	95.53	0.009969	
2	TU5-RT1	Pagi	137.49	0.040952	B
		Siang	114.75	0.035749	
3	TU5-RT2	Pagi	132.32	0.034393	B
		Siang	133.06	0.034067	
4	TU0-RT4	Pagi	55.74	0.013832	A
		Siang	84.11	0.016375	
		Malam	85.65	0.017049	
5	TU1-RT5	Pagi	57.69	0.016243	A
		Siang	84.14	0.016529	
		Malam	92.44	0.018213	
6	TU5-RT3	Pagi	122.58	0.035733	B
		Siang	132.14	0.035272	
7	TU3-RT1	Pagi	74.01	0.017624	A
		Siang	94.11	0.019720	
		Malam	140.58	0.017221	
8	TU2-RT2	Pagi	69.41	0.016939	A
		Siang	66.25	0.019715	
		Malam	109.53	0.017353	
9	TU5-RT4	Pagi	130.12	0.033344	B
		Siang	140.02	0.035254	
		Malam	125.98	0.030327	

Tabel 4.25 menunjukkan hasil dari pengujian terhadap transformator *testing*. Dari hasil tersebut, didapatkan kualitas minyak

transformator berdasarkan nilai PSD yang didapat masing-masing transformator. Dapat dilihat bahwa transformator yang sama dengan waktu pengukuran yang berbeda masuk kedalam kelas umur minyak transformator yang sama.

Pengukuran dilakukan lebih dari sekali bertujuan untuk memastikan keakuratan dari pengelompokan yang dibuat. Ternyata transformator yang sama dengan arus nominal yang berbeda masuk ke dalam kelas umur yang sama. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa terdapat 5 transformator yang masuk kedalam kelas umur A, yakni TU2-RT1, TU0-RT4, TU1-RT5, TU3-RT1 dan TU2-RT2. Sedangkan transformator yang masuk kedalam kelas umur B berjumlah 4 transformator, yakni TU5-RT1, TU5-RT2, TU5-RT3 dan TU5-RT4. Penentuan kelas umur minyak transformator tersebut didasarkan pada pengelompokan yang telah dibuat sebelumnya pada tabel 4.23.

Terdapat 3 kondisi yang dapat terjadi dalam *monitoring* yang dilakukan, yakni transformator tersebut memiliki umur aktual yang sama dengan hasil dari *monitoring* transformator. Kondisi yang kedua ialah transformator tersebut memiliki umur aktual transformator yang lebih tinggi daripada umur minyak transformator. Kondisi ketiga ialah Transformator memiliki nilai aktual yang lebih tinggi dibandingkan umur minyak transformator. Kondisi ketiga ialah kondisi dimana perlunya dilakukan *monitoring* terhadap transformator tersebut karena dimungkinkan adanya penuaan terhadap minyak transformator

Dari pengelompokan tersebut, terdapat 8 transformator yang memiliki umur aktual dan umur minyak transformator yang sesuai. Terdapat 1 transformator yang memiliki umur aktual dan umur transformator yang berbeda yakni TU3-RT1. Transformator TU3-RT1 memiliki umur aktual 3 tahun. Pada saat diuji, ternyata minyak transformator tersebut masuk kedalam kelas umur B. Transformator ini memiliki nilai umur minyak transformator yang lebih rendah dibandingkan dengan umur aktual. Kondisi ini tidak menjadi masalah dikarenakan nilai PSD mengindikasikan tidak adanya kondisi yang berbeda dengan yang seharusnya. Kondisi yang dihindari ialah kondisi yang ketiga yakni nilai *PSD* minyak transformator lebih tinggi dibandingkan dengan umur aktual transformator.



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D.M. Said, K. M. Nor, and M.S. Majid, “ Analysis of Distribution Losses and Life Expectancy using Measured Harmonic Data”, International Conf. on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010, 26-29 Sept. 2010
- [2] Standart PLN – 8 – 2 1991
- [3] S. Boudraa, L. Mokhnache, I. Fofana. “A comparative Study of impact of Electrical stress and thermal aging on transformer oil,” in : 11th Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 2014
- [4] SPLN, “*Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*”, PT. PLN (persero) P3B, 2003
- [5] John Snell, “Best Practices for using Infrared Thermography for Condition Monitoring of Oil-filled Utility Assets”, Snell Infrared, 2005.
- [6] Cusido Jordi and Romeral Luis, “ Fault Detection in Induction Machine Using *Power Spectral Density* in Wavelet Decomposition’, IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. 55, no. 2, February 2008



---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

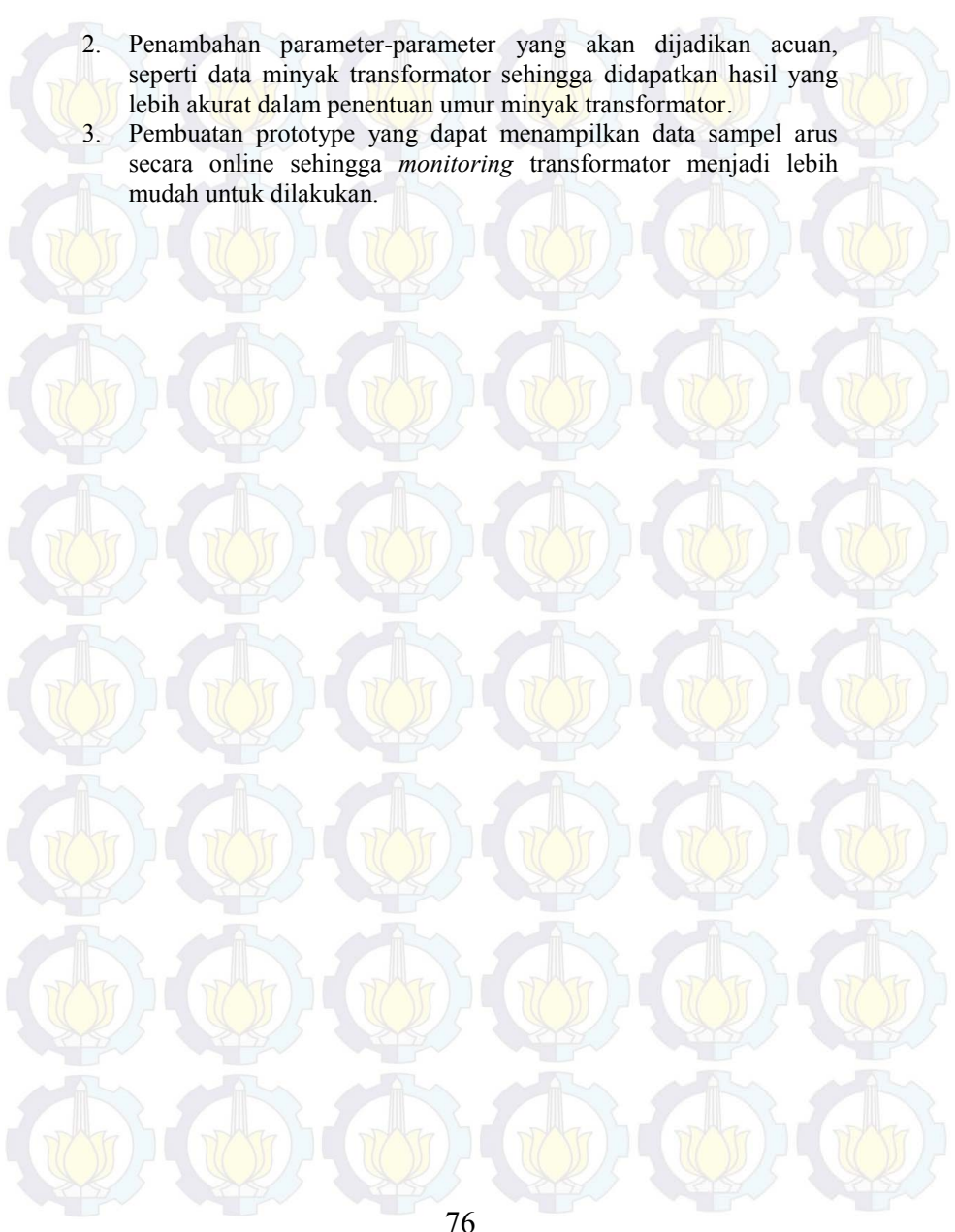
Setelah dilakukannya proses penilitan studi literatur, pengambilan data transformator daya, pengolahan data, pemodelan transformator berdasarkan nilai *PSD* dan pengelompokan umur minyak transformator, maka terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan:

1. Terdapat 3 kondisi yang dapat terjadi dalam *monitoring* yang dilakukan, yakni transformator tersebut memiliki umur aktual yang sama dengan hasil dari *monitoring* transformator. Kondisi yang kedua ialah transformator tersebut memiliki umur aktual transformator yang lebih tinggi daripada umur minyak transformator. Kondisi ketiga ialah Transformator memiliki nilai aktual yang lebih tinggi dibandingkan umur minyak transformator. Kondisi ketiga ialah kondisi yang diperlukan adanya *monitoring* lebih lanjut.
2. Hasil pengolahan wavelet meyer berupa nilai *power spectral density* digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator
3. Pengolahan nilai *power spectral density* memiliki nilai terbaik pada dekomposisi pertama
4. Data temperatur transformator belum dapat digunakan untuk mengelompokkan umur minyak transformator.
5. Pengelompokan umur transformator yang dilakukan ialah pengelompokan 2 kelas umur. Kelas Umur A dan kelas Umur B. Kelas umur A ialah umur minyak transformator 0,1 dan 2 tahun. Kelas Umur B ialah minyak transformator yang berumur 3 dan lebih dari 5 tahun. Pengelompokan menggunakan kelas umur ini merupakan hasil yang terbaik.

5.2 Penelitian Selanjutnya

Setelah dilakukannya penelitian ini, terdapat beberapa hal yang akan disempurnakan pada penelitian selanjutnya. Berikut ialah saran-saran yang dapat dilakukan guna mendapatkan hasil yang lebih maksimal pada penelitian selanjutnya:

1. Jumlah transformator yang menjadi objek penelitian diperbanyak dengan umur transformator yang lebih bervariasi sehingga didapatkan pengelompokan umur dan range arus yang lebih banyak.

- 
2. Penambahan parameter-parameter yang akan dijadikan acuan, seperti data minyak transformator sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat dalam penentuan umur minyak transformator.
 3. Pembuatan prototype yang dapat menampilkan data sampel arus secara online sehingga *monitoring* transformator menjadi lebih mudah untuk dilakukan.